

63

**Circular  
Técnica**

*Campina Grande, PB  
Outubro, 2002*

### **Autores**

**Maria José da Silva Luz**  
Eng. Agrôn., M.Sc. da Embrapa  
Algodão, Rua Osvaldo Cruz, 1143,  
Centenário, CEP 58107-720,  
Campina Grande, PB. E-mail:  
mariajos@cnpa.embrapa.br.

**Gilvan Barbosa Ferreira**  
Eng. Agrôn., M.Sc. da Embrapa  
Algodão. E-mail:  
gilvanbf@cnpa.embrapa.br

**José Renato Cortez Bezerra**  
Eng. Agrôn., M.Sc. da Embrapa  
Algodão, E-mail:  
renato@cnpa.embrapa.br

**Embrapa**

## **Adubação e Correção do Solo: Procedimentos a Serem Adotados em Função dos Resultados da Análise do Solo**



Para o crescimento e desenvolvimento das plantas existem, geralmente, cinco fatores indispensáveis: luz, temperatura, ar, água e nutrientes. Com exceção da luz, o solo tem capacidade de supri-los, quer no todo ou em parte.

A produtividade de uma cultura é o resultado da ação de diferentes características

ligadas ao clima (luz, precipitação, temperatura etc), ao solo (fertilidade, características físicas, tipos de solo etc), à planta (potencial genético em produção, em eficiência no uso dos nutrientes e água, em tolerância e resistência a estresses etc) e ao manejo (população de plantas, controle de pragas, de doenças e de ervas daninhas, irrigação etc).

A fertilidade é a característica que mais evidencia o valor agroômico do solo. Ela define a capacidade do solo em fornecer nutrientes às plantas em quantidades e proporções adequadas para a obtenção de grandes produtividades, e pode ser modificada pelo homem com certa facilidade, para se adequar às exigências da planta cultivada. Como exemplo, uma das maiores produtividades do mundo em algodão herbáceo em caroço (3.200 kg/ha, safra 2000/2001) em condições de sequeiro é obtida no Brasil, em Mato Grosso (BELTRÃO et al., 2000), em solos de Cerrado naturalmente pobres em bases trocáveis e ricos em alumínio tóxico ( $Al^{3+}$ ), os quais foram corrigidos e adubados corretamente.

A planta retira do solo grandes quantidades (kg/ha) dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), chamados macronutrientes. Ela retira, também, pequenas quantidades (g/ha) de boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl), ferro (Fe), níquel (Ni), manganês (Mn) e zinco (Zn), razão pela qual são chamados micronutrientes. Esses elementos perfazem, juntos, apenas 5 a 7% do peso seco das plantas. Entretanto, são essenciais para que ela possa absorver do ar e da água o carbono (C), o oxigênio (O) e o hidrogênio (H) e sintetizar os produtos orgânicos diversos que compoem a produção agrícola (MARSCHNER, 1995). No geral, quanto maior a produtividade tanto maior é a retirada de nutrientes do solo, tanto através do produto colhido como das partes aérea e radicular da planta.

Os nutrientes do solo são perdidos naturalmente por retirada e exportação pela parte colhida da planta, por lavagem do perfil do solo através da água da chuva (lixiviação), por arraste de partículas (erosão), por imobilização pelos organismos e por fixação pelas partículas do solo. Por isto, após sucessivos cultivos, o rendimento das culturas diminui muito devido à modificação da fertilidade do solo, principalmente do decréscimo nos teores de matéria orgânica (MO), N, P, K, Ca e Mg; porém, a fertilidade é uma capacidade do solo que pode ser conduzida em condições ideais pela intervenção do homem, através da calagem e da adubação. Por este motivo e pelo fato de exercerem grande efeito no aumento da produtividade das plantas, os fertilizantes são insumos indispensáveis na agricultura moderna, principalmente na irrigada.

A adubação é a prática agrícola que consiste em adicionar ao solo a quantidade de nutrientes que preenche a lacuna entre o que a planta exige e o que o solo pode fornecer, acrescentando, ainda, a quantidade perdida (MALAVOLTA, 1989). Assim, a quantificação dos nutrientes existentes no solo é essencial para um uso eficiente, racional e econômico do adubo. A adubação começa com a análise do solo, continua com a correção da acidez e termina com a aplicação correta do adubo (MALAVOLTA, 1992a).

Há agricultores que fazem a adubação de suas culturas sem a análise do solo, e outros que, uma vez de posse dos resultados da análise química do solo, não sabem interpretá-los. Estes, em vez de recorrerem aos agrônomos das Emater locais recorrem, muitas vezes, aos comerciantes para o cálculo da quantidade de fertilizantes que deve ser aplicada ao solo. Através desta Circular Técnica objetiva-se fornecer informações básicas necessárias para: (i) a coleta correta das amostras de solo (ii) o cálculo da quantidade de fertilizantes que deve ser comprada, com base nos resultados da análise de fertilidade do solo, e (iii) a aplicação adequada do corretivo recomendado.

## Análise do Solo

A análise do solo é a medida mais prática, rápida, direta e barata de se fazer uma análise racional da fertilidade do solo e de transferir tecnologia desenvolvida na pesquisa para o agricultor (CHITOLINA et al., 1999; RAIJ, 1995, 1992). Portanto, para se saber se um solo tem os nutrientes necessários em qualidade e quantidade, deve-se fazer sua análise. Se por ela se constatar que falta, em parte ou totalmente, os nutrientes de que a cultura necessita, deve-se incorporá-los ao solo. Embora seja comum se fazer adubação sem realizar a análise do solo, isto não é correto. O certo, ao se planejar e realizar a adubação, é partir da riqueza do solo e das necessidades da planta.

A maior utilização da análise do solo é no sentido de orientação no emprego de fertilizantes e calagem, porém suas informações podem ser usadas para acompanhar as modificações nos teores dos nutrientes com as diferentes práticas de manejo do solo, da água e da planta. Isso possibilita um uso eficiente dos adubos e evita possíveis contaminações do ambiente.

As quantidades dos elementos a serem aplicadas, em uma cultura, são determinadas de acordo com os teores presentes no solo e as exigências da cultura, com base na análise de fertilidade de amostras do solo, coletadas no local, antes do plantio.

Portanto, através da análise do solo pode-se determinar a quantidade do elemento no solo e estimar as necessidades de calagem e dos nutrientes essenciais necessários para a obtenção de uma produção economicamente rentável para o agricultor.

Na Tabela 1 do APÊNDICE estão relacionados alguns dos Laboratórios de Fertilidade do Solo em operação no Brasil, que participam do Programa de Análise de Qualidade de Laboratórios de Fertilidade, mantido pela Embrapa Solos, e estão habilitados ao uso do selo de qualidade, em 2002.

## Crítérios para a Amostragem do Solo

A adubação correta é um dos principais fatores de sucesso no aumento da produção agrícola em solos

tropicais. Ela depende dos resultados da análise do solo. A qualidade desta análise, entretanto, está fundamentada na adequada coleta da amostra de solo (CHITOLINA et al., 1999; SILVA, 1999; CAVALCANTI et al., 1998; MALAVOLTA, 1992a; Raij, 1994).

A análise do solo pressupõe que a amostra é representativa da área considerada, que nenhuma contaminação ou alteração significativa tenha ocorrido no seu processo de coleta, secagem e acondicionamento, e que os métodos analíticos quantifiquem bem o nutriente com o máximo de precisão e exatidão (ALVAREZ VÊNEGAS, 1995).

No geral, as determinações analíticas atendem bem às expectativas. Entretanto, a coleta e o acondicionamento da amostra do solo de uma área devem obedecer a certos critérios, para que os resultados das análises feitas sejam aceitáveis: a) as amostragens precisam ser feitas em áreas homogêneas; b) o número de amostras simples (subamostras) por amostra composta, deve ser suficiente para torná-la representativa da área; e c) a amostragem precisa deve ser feita regularmente na área, de acordo com a cultura e o manejo do solo adotado (se plantio direto ou convencional).

Para atender aos critérios e pressuposições adotados, as sugestões gerais abaixo devem ser adotadas:

### 3.1. Sistema Convencional (SC)

3.1.1. As amostras devem ser coletadas com bastante antecedência da época do preparo do solo e do plantio, pois assim haverá tempo suficiente para o laboratório analisá-las e para as recomendações de adubação chegarem ao agricultor com tempo para efetuar a compra do calcário e dos fertilizantes. A época ideal para a amostragem para as culturas anuais, é logo após o término das colheitas; para as perenes, após a colheita ou dois meses depois da aplicação do último parcelamento anual da adubação; e, para as pastagens, dois a três meses antes do período de maior crescimento vegetativo.

3.1.2. A propriedade deve ser dividida em áreas

uniformes (glebas) quanto à cor, textura, topografia, profundidade do perfil, manchas, presença de erosão, cultura atual e manejos anteriores em adubação, calagem e gessagem (Fig. 1).

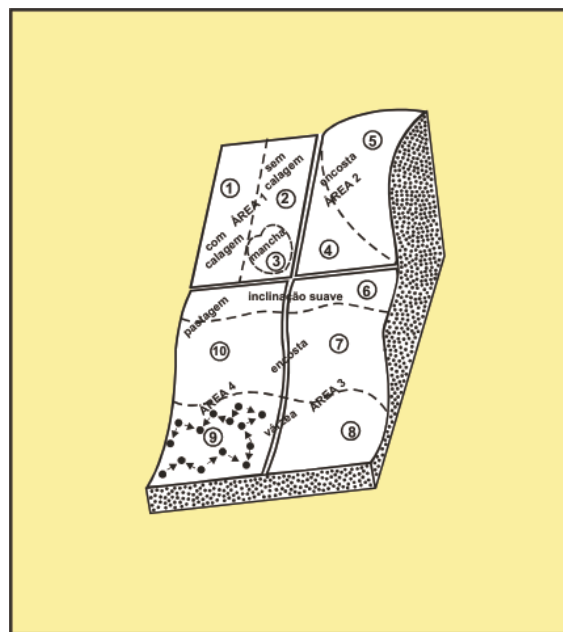


Fig. 1. Plano de amostragem de uma gleba, com diferentes declives e usos de solo. Amostras coletadas por caminhar em zigue-zague. Fonte: Comissão De Fertilidade Do Solo- RS/SC (1995).

3.1.3. As amostras retiradas nas diferentes glebas não devem ser misturadas. Quanto mais uniforme for a gleba, maior poderá ser a área para fins de coleta: até 3 ha, retirar 15 amostras simples para misturar e compor uma amostra composta; b) 3 a 5 ha, retirar 20 amostras simples; c) maior que 20 ha, 25 a 30 amostras simples.

3.1.4. As amostras devem ser retiradas, na maioria dos casos, dos 20 cm mais superficiais do solo. Em caso das culturas perenes ou quando se suspeite que o alumínio tóxico esteja restringindo o crescimento das raízes em subsuperfície, as amostras também deverão ser coletadas nas profundidades de 20-40 e 40-60 cm e postas em recipientes separados.

3.1.5 Ao se amostrar os solos fertilizados anteriormente, deve-se ter o cuidado para não se coletar amostras sobre as linhas (sulcos) onde foram aplicados os fertilizantes.

3.1.6. Não se deve retirar amostras de antigos caminhos nem de locais próximos a residências, galpões, formigueiros, depósitos de fertilizantes, estradas, pocilgas, currais etc, nem quando o terreno estiver encharcado.

3.1.7. O ponto (local) onde se for coletar a amostra deve ter a superfície do solo bem limpa, removendo-se folhas caídas, detritos e restos culturais.

3.1.8. Estas áreas devem ser percorridas em ziguezague (Fig. 1) e as amostras simples devem ser retiradas de 15, 20 ou 30 pontos diferentes, a cada 50 m ou 60 m, e colocadas em um balde limpo. Essas amostras devem ser bem misturadas no balde, obtendo-se a amostra composta, da qual se deve retirar uma amostra de cerca de 500 g.

As amostras com volume e profundidades uniformes podem ser retiradas com trado, enxada ou pá (Fig. 2). No caso da pá, corta-se uma fatia com 2 cm a 5 cm de espessura e utiliza-se apenas a parte central.

3.1.10. É importante que, tanto o balde onde se colocam as amostras simples, como o recipiente (saco plástico ou outro qualquer) no qual vai ser acondicionada a amostra composta, estejam bem limpos, para evitar a contaminação da amostra, o que alteraria o resultado da análise química.

3.1.11. A amostra coletada deve ser enviada no mesmo dia ao laboratório; caso não seja possível, ela deve ser posta para secar à sombra em local limpo e arejado. Depois de seca deve ser destorroada, limpa de pedaços de pau, raízes e pedras e colocada em saco plástico de 500 g ou caixinhas próprias ou, ainda, saco de pano.

3.1.12. As amostras, a serem encaminhadas ao laboratório, devem ser identificadas por meio de etiqueta que contenha o número da amostra/lote, nome do proprietário, nome da propriedade e do município, data da coleta, textura do solo (arenosa, argilosa, barrenta), posição da área (baixada, meia encosta, parte alta), adubação e calagem feitas anteriormente (tipo e quantidade aplicada), cultura anterior e cultura a ser implantada.

Na Tabela 1 do Apêndice são arrolados alguns dos laboratórios em operação no Brasil.

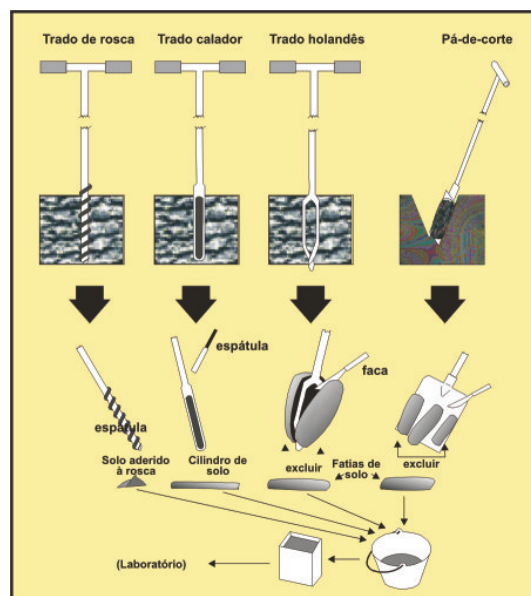


Fig. 2. Procedimentos de amostragem de solo utilizando-se diferentes equipamentos.

A frequência de amostragens deve ser de 1 a 4 anos, dependendo da intensidade e do tipo de adubação, do número de culturas anuais sucessivas e do acompanhamento do estado nutricional da planta, através da análise foliar. E deve ser aumentada nas glebas que receberam altas doses de adubos ou onde a análise foliar acuse desbalanço nutricional.

O dinheiro gasto com a análise deve ser encarado como investimento cujo retorno virá do aumento da produtividade da cultura ou da redução do uso de insumos aplicados em excesso.

### 3.2. Sistema Plantio Direto

O sistema de plantio direto (SPD) é caracterizado pelo não revolvimento do solo, sendo a cultura semeada diretamente sobre a palhada da antecessora (HERNANI e SALTON, 1998). A adubação, sendo feita na superfície, no plantio ou em cobertura, provoca acumulação diferencial de nutrientes no perfil, com maiores teores sendo alcançados na camada de 0-5 cm do solo (SÁ, 1999).

A maior variabilidade espacial, vertical e horizontal, nos teores dos nutrientes, impõe a necessidade de alterar a profundidade de amostragem e o local da

coleta na gleba, em relação às linhas e entrelinhas das culturas manejadas. Os demais cuidados na amostragem são idênticos aos destacados para o sistema de cultivo convencional (SCC). Oliveira et al. (2002), revisando amplamente a questão da amostragem no SPD, concluíram que a forma de adubação da gleba (a lanço ou em linha), o tempo de adoção do SPD (fase de implantação ou fase estabelecida), o instrumento de coleta da amostra, a profundidade de amostragem e o número de amostras simples por amostra composta, devem ser considerados para obtenção de uma boa amostragem do solo e sugeriram que a amostragem do solo de uma área homogênea neste sistema de plantio, siga as seguintes recomendações:

### **3.2.1. Antes da Adoção do Sistema Plantio Direto**

Amostrar ao acaso, com pá de corte (fatia com 5 cm de espessura e 10 cm de largura) ou caladores de 5-6 cm de diâmetro, na camada de 0-20 cm de profundidade, cerca de 15 pontos da gleba considerada homogênea, para formar uma amostra composta.

### **3.2.2. Áreas em Sistema Plantio Direto com Adubação a Lanço**

#### **3.2.2.1. Fase de implantação (primeiros cinco anos)**

Seguir os mesmos procedimentos utilizados antes da adoção do SPD (item 3.1.1), dando preferência ao uso da pá de corte, retirando-se uma fatia com 5 cm de espessura e 10 cm de largura.

#### **3.2.2.2. Fase estabelecida ou consolidada (após cinco anos)**

Seguir as recomendações adotadas na fase de implantação (item 3.2.2.1), modificando-se apenas a profundidade de amostragem para 0-10 cm.

### **3.2.3. Áreas em Sistema Plantio Direto com Adubação em Linha**

#### **3.2.3.1. Fase de implantação (primeiros cinco anos)**

Amostrar com pá de corte, na profundidade de 0-20 cm, transversalmente ao sentido da linha de adubação, retirando-se uma fatia de solo com 5 cm de espessura e largura igual ao comprimento das

entrelinhas da cultura anterior, de maneira que a linha de adubação esteja centralizada na faixa de coleta. Retirar cerca de 20 amostras simples para formar uma amostra composta.

#### **3.2.3.2. Fase estabelecida ou consolidada (após cinco anos)**

Seguir as mesmas recomendações adotadas na fase de implantação (item 3.2.3.1), modificando apenas a profundidade de amostragem, para 0-10 cm.

## **CÁLCULO DA NECESSIDADE DE FERTILIZANTES EM FUNÇÃO DA ANÁLISE DO SOLO**

As quantidades de corretivo e fertilizantes que serão aplicados dependem dos teores dos nutrientes diagnosticados pela análise do solo e da recomendação técnica disponível, feita por um Engenheiro Agrônomo.

Para se chegar à dose de maior retorno econômico para o agricultor, é necessário que se conheça o resultado das análises do solo, quanto o sistema de recomendação atual prescreve (baseado em experimentação intensiva no campo), quais os adubos disponíveis e o custo efetivo por unidade do fertilizante (R\$/kg do nutriente) e corretivo (R\$/t do neutralizante efetivo) aplicado no solo da propriedade.

### **4.1. Resultados da análise do solo**

Para compreender o boletim de análise emitido pelo laboratório, é necessário se conhecer alguns fundamentos da fertilidade do solo.

#### **4.1.1. Alguns fundamentos básicos da fertilidade do solo**

Em geral, o solo tem 50% de sua constituição ocupada por materiais sólidos (45% partículas minerais e 5% orgânica) e metade por espaços porosos (idealmente, 25% ocupados pelo ar e 25% pela água). Sua fase sólida apresenta-se fragmentada em frações de vários tamanhos: areia de 0,02 a 2 mm; silte, de 0,02-0,002 mm; e argila: < 0,002 mm. A combinação dessas diferentes



frações em percentuais variados, forma solos de diferentes texturas (arenosos a argilosos).

As partículas (minerais e orgânicas) da fração argila têm a capacidade de desenvolver cargas elétricas negativas e positivas, as quais atraem os íons de cargas opostas e possuem capacidade de troca catiônica (CTC, íons positivos) e aniônica (CTA, íons negativos). Os solos mais jovens possuem maiores CTCs e baixa CTA; os mais velhos e ácidos têm CTC baixa e podem ter CTA até maior que a CTC. Os cátions de interesse para a planta, são: o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), o potássio ( $\text{K}^+$ ), o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), o magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), o cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), o ferro ( $\text{Fe}^{2+}$  ou  $3^+$ ), o manganês ( $\text{Mn}^{2+}$  ou  $4^+$ ) e o zinco ( $\text{Zn}^{2+}$ ); os ânions de interesse são: o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), o sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), o cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e o molibdato ( $\text{MoO}_4^-$ ). O hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) determina uma importante característica do solo- o pH- e o alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) pode atingir uma concentração tal, que se torna tóxico à planta (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; MARSCHNER, 1995).

Os nutrientes estão distribuídos no solo em forma disponível e em forma não-disponível para a planta. Os nutrientes disponíveis para a planta estão localizados na solução do solo, no seu complexo de troca e na matéria orgânica mineralizável. Esses nutrientes podem ser determinados na análise do solo, após extração com uma solução química apropriada. Os nutrientes não-disponíveis estão fixados nas partículas, imobilizados na matéria orgânica ou fazem parte da estrutura química dos minerais constituintes das partículas do solo. Esses nutrientes estão em equilíbrio com os disponíveis e constituem uma reserva potencial do solo (INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO, 1998).

A análise do solo para fins de fertilidade mais comum, determina: as bases trocáveis - cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ) e sódio ( $\text{Na}^+$ ); a acidez ativa- pH; a acidez trocável- alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ); a acidez potencial-  $\text{Al} + \text{H}$ ; o teor disponível de fósforo (P) e o teor de matéria orgânica (MO). Opcionalmente, podem ser analisados os teores

disponíveis de enxofre (S) e dos micronutrientes boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn).

O somatório dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  é chamado soma de bases trocáveis (SB). A adição do  $\text{Al}^{3+}$  ao valor da SB resulta na capacidade de troca catiônica efetiva (CTC efetiva ou t) no pH atual do solo. A adição do  $\text{Al} + \text{H}$  ao SB resulta na capacidade de troca catiônica a pH 7 (CTC a pH 7 ou T). A CTC efetiva mostra a quantidade de bases trocáveis ou  $\text{Al}^{3+}$  que o solo possui e pode ceder à planta; a CTC a pH 7, dá uma idéia do potencial de bases trocáveis que o solo pode reter em forma disponível, caso sua acidez seja corrigida. Outros dois valores muito importantes são a saturação por alumínio trocável (valor  $m = 100 \times \text{Al}^{3+} / \text{CTC}$  efetiva) e a porcentagem de saturação de bases trocáveis (valor  $V = 100 \times \text{SB} / \text{CTC}$  a pH 7). Valores altos de  $m$  indicam solos com alto impedimento ao crescimento da planta por toxidez de alumínio; já os valores altos de  $V$  (> 50%) são desejáveis, porque refletem alto potencial do solo para nutrição da planta.

#### 4.2. Interpretação dos Resultados da Análise do Solo

A magnitude dos valores individuais de cada nutriente, assim como as variáveis deles derivadas (SB, t, T, V e m) dão uma idéia do grau da fertilidade do solo, ou seja, de sua capacidade de ceder nutrientes para as plantas (RAIJ, 1991), conforme se pode observar nas Tabelas 1, 2 e 3, para os estados de Pernambuco, São Paulo e Minas Gerais, respectivamente.

Portanto, pode-se entender os resultados da análise do solo emitidos pelo laboratório, comparando-se os seus valores (Tabela 4) com aqueles expressos nas Tabelas 1, 2 e 3.

#### 4.3. Recomendação de Corretivos e Adubos

Os critérios de interpretação variam de região para região ou de Estado para Estado. O ideal é que cada Estado tenha tabelas de interpretação da fertilidade dos seus solos e de recomendação de corretivos e adubos, para cada cultura. Isto porque as condições locais, principalmente as propriedades dos solos, o clima e o nível tecnológico usado pelos agricultores, que influem nos rendimentos das diversas culturas,

**Tabela 1.** Critérios para interpretação dos resultados de análise de solo no Estado de Pernambuco.

Interpretação	Componentes da análise da fertilidade					
	Nutrientes e matéria orgânica					
	p <sup>1/</sup>	K <sup>+</sup> <sup>2/</sup>	Ca <sup>2+</sup> <sup>2/</sup>	Mg <sup>2+</sup> <sup>2/</sup>	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> <sup>2/</sup>	M.O. <sup>3/</sup>
	mg dm <sup>-3</sup>			mmol. dm <sup>-3</sup>		g kg <sup>-1</sup>
Baixo	< 11	< 1,2	≤ 15	≤ 5	≤ 20	≤ 15
Médio	11-30	1,2-2,3	16-40	6-10	2,1-50	16-30
Alto	> 30	≥ 2,3	> 40	≥ 10	> 50	> 30
	Acidez e alcalinidade					
	pH água 1:2,5			Al <sup>3+</sup> <sup>2/</sup> (mmol. dm <sup>3</sup> )		
- Acidez Ativa				-		
Fortemente ácido	< 5,0			-		
Medianamente ácido	5,1-5,7			-		
Fracamente ácido	5,8-6,9			-		
Neutro	7,0			-		
Fracamente alcalino	7,1-7,9			-		
Alcalino	> 8,0			-		
- Acidez trocável						
Pouco nocivo	-			< 3,0		
Medianamente nocivo	-			3,1 - 10,0		
Altamente nocivo	-			> 10,0		
	Salinidade					
	CE <sup>4/</sup> (dS m <sup>-1</sup> )	PST <sup>5/</sup> <sub>r</sub>		RAS <sup>6/</sup>		pH
Solos normais	< 4	< 15		< 13		< 8,5
Solos salinos	> 4	< 15		< 13		< 8,5
Solos sódicos	< 4	> 15		> 13		> 8,5
Solos salino-sódicos	> 4	> 15		> 13		> 8,5

<sup>1</sup>Extrator Mehlich-1; <sup>2</sup>KCl 1 mol/L; <sup>3</sup>M.O.: Matéria orgânica pelo método de Walkey-Black (Silva, 1999); <sup>4</sup>CE: Condutividade elétrica da pasta de saturação; <sup>5</sup>PST: percentual de sódio trocável ( $100 * Na^{+}/CTC$ ); <sup>6</sup>RAS: relação de adsorção de sódio ( $RAS = Na^{+}/(Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2}$ )  
 Fonte: Modificado de Malavolta (1992c) e Pereira (1998).

**Tabela 2.** Níveis de fertilidade para a interpretação de análises de solos em uso nos laboratórios do Estado de São Paulo.

Atributos	Produção Relativa (%)				
	0-70	71-90	91-100	> 100	> 100
	Teores				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
	mg dm <sup>-3</sup>				
Fósforo (P)					
- culturas florestais	0-2	3-5	6-8	9-16	> 16
- culturas perenes	0-5	6-12	13-30	31-60	> 60
- culturas anuais	0-6	7-15	16-40	41-80	> 80
- hortaliças	0-10	11-25	26-60	61-120	> 120
$S-SO_4^{2-}$	-	0-4	5-10	> 10	-
	mmol. dm <sup>-3</sup>				
$K^{+}$ trocável	0,0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	3,1-6,0	> 6,0
$Ca^{2+}$ trocável	-	0-3	4-7	> 7	-
$Mg^{2+}$ trocável	-	0-4	5-8	> 8	-
	mg dm <sup>-3</sup>				
Boro (B)	-	0,0-0,20	0,21-0,60	> 0,60	-
Cobre (Cu)	-	0-0,2	0,3-0,8	> 0,8	-
Ferro (Fe)	-	0-4	5-12	> 12	-
Manganês (Mn)	-	0-1,2	1,2-5,0	> 5,0	-
Zinco (Zn)	-	0-0,5	0,6-1,2	> 1,2	-
Acidez	Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
$pH$ 1:2,5 ( $CaCl_2$ 0,01 M)	Até 4,3	4,4-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	> 6,0
Saturação por bases	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
V (%)	0-25	26-50	51-70	71-90	> 90

OBS.: Extratores: P, K, Ca.

Mg = resina; S = fosfato de cálcio; B = água quente; Cu, Fe, Mn e Zn = DTPA

Fonte: Raji et al. (1996), modificado pelo Instituto da Potassa & Fosfato (1998).

**Tabela 3.** Níveis de fertilidade para a interpretação de análises de solos em uso nos laboratórios do Estado de Minas Gerais.

Atributos	Teor no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	mmol. dm <sup>-3</sup>				
$Ca^{2+}$ trocável	-	0-15	16-40	> 40	-
$Mg^{2+}$ trocável	-	0-5	6-10	> 10	-
$Al^{3+}$	-	0-3	4-10	> 10	-
Acidez potencial (H + Al)	-	0-25	26-50	> 50	-
Soma de bases (SB = Ca + Mg + K)	-	0-20	21-50	> 50	-
CTC efetiva (t) (t = SB + Al)	-	0-25	26-60	> 60	-
CTC a pH 7 (T = SB + H + Al)	-	0-45	46-100	> 100	-
	mg dm <sup>-3</sup>				
K disponível	-	0-45	46-80	> 80	-
P disponível					
- Solos c/ argila: > 35%	-	0-5	6-10	> 10	-
- Solos c/ argila: < 15%	-	0-10	10-20	> 20	-
- Solos c/ argila: 15-35%	-	0-20	21-30	> 30	-
	%				
Saturação por $Al^{3+}$ (m = $100 \times Al^{3+}/t$ )	-	0-20	21-40	41-60	> 60
Saturação por bases (V = $100 \times SB/T$ )	0-25	26-50	51-70	71-90	> 90
	dag kg <sup>-1</sup>				
Matéria orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	-	0-1,5	1,6-3,0	> 3,0	-
Ft. ácido	M. ácido	Fc. ácido	Neutro	Fc. Alcalino	Ft. Alcalino
pH em água	< 5	5,0-5,9	6-6,9	7	7,1-7,8

OBS.: a) mmol. dm<sup>-3</sup> = cmol. dm<sup>-3</sup> x 10; K<sup>+</sup> (mmol. dm<sup>-3</sup>) = mg dm<sup>-3</sup> / 39,1; dag kg = %; Ft. = fortemente; Fc. = fracamente. b) Extratores: Ca, Mg, Al = KCl 1 mol/L; P, K = Mehlich-1; H + Al = solução tampão SMP ou Acetado de cálcio 0,5 mol/L

Fonte: Instituto da Potassa & Fosfato, 1998, com algumas modificações).

**Tabela 4.** Resultados hipotéticos da análise de três solos provenientes dos Estados da Paraíba, São Paulo e Mato Grosso.

Atributos	Teor no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	mmol. dm <sup>-3</sup>				
$Ca^{2+}$ trocável	-	0-15	16-40	> 40	-
$Mg^{2+}$ trocável	-	0-5	6-10	> 10	-
$Al^{3+}$	-	0-3	4-10	> 10	-
Acidez potencial (H + Al)	-	0-25	26-50	> 50	-
Soma de bases (SB = Ca + Mg + K)	-	0-20	21-50	> 50	-
CTC efetiva (t) (t = SB + Al)	-	0-25	26-60	> 60	-
CTC a pH 7 (T = SB + H + Al)	-	0-45	46-100	> 100	-
	mg dm <sup>-3</sup>				
K disponível	-	0-45	46-80	> 80	-
P disponível					
- Solos c/ argila: > 35%	-	0-5	6-10	> 10	-
- Solos c/ argila: < 15%	-	0-10	10-20	> 20	-
- Solos c/ argila: 15-35%	-	0-20	21-30	> 30	-
	%				
Saturação por $Al^{3+}$ (m = $100 \times Al^{3+}/t$ )	-	0-20	21-40	41-60	> 60
Saturação por bases (V = $100 \times SB/T$ )	0-25	26-50	51-70	71-90	> 90
	dag kg <sup>-1</sup>				
Matéria orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	-	0-1,5	1,6-3,0	> 3,0	-
Ft. ácido	M. ácido	Fc. ácido	Neutro	Fc. Alcalino	Ft. Alcalino
pH em água	< 5	5,0-5,9	6-6,9	7	7,1-7,8

Extratores: SP - P, K, Ca e Mg = resina; pH em  $CaCl_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>; PB e MT - Ca, Mg, Al = KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; P, K = Mehlich-1. H + Al (todos os solos) = solução tampão SMP ou acetado de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>

são diferentes. Assim, essas tabelas também devem se diferenciar, pois são baseadas em intensiva experimentação local a nível de campo, visando definir a dose do nutriente a ser aplicada e o nível do nutriente no solo a ser alcançado para a obtenção do melhor retorno econômico ao produtor. As doses assim encontradas constituem a base para a recomendação oficial de corretivos e adubos.

A falta de tabelas oficiais de recomendação de corretivos e adubos ou sua desatualização, impõe a necessidade de se recorrer a outros critérios menos precisos. Nesses casos, pode-se fazer a interpretação da análise do solo e as recomendações de corretivos e adubos, baseando-se: (i) no conhecimento teórico acumulado no estudo da fertilidade do solo (considerando-se os requerimentos da planta e fazendo-se inferências a partir da realidade local); (ii) na extrapolação de dados de pesquisas feitas em regiões com as mesmas características de solo e clima e, sobretudo; (iii) na experiência do Engenheiro Agrônomo, que trabalha na região. Como exemplo do uso desses critérios, na Tabela 5 pode-se ter uma visão panorâmica da fertilidade dos solos de duas grandes regiões brasileiras.

Quanto maior for o esforço da pesquisa e mais intensiva a exploração agrícola, mais bem elaborados estarão os critérios de recomendação e mais provável será a obtenção da máxima produtividade econômica prevista. O inverso também é verdadeiro e pode levar o agricultor a não obter os resultados esperados e, pela desconfiança natural, impedir que novas tecnologias sejam adotadas no campo.

Nas Tabelas 6, 7 e 8, têm-se as recomendações oficiais para o cultivo do algodoeiro herbáceo nos Estados de PE/PB (por causa da desatualização dos critérios de recomendação do Estado da PB – EMATER (1979)), SP e MT/MS. Pode-se observar que algumas regiões exigem a determinação da textura do solo. Os novos avanços nas pesquisas têm mostrado a necessidade de incorporar um estimador eficiente (textura ou P remanescente) da resistência imposta pelo solo na modificação dos teores dos nutrientes disponíveis para a planta, seja

**Tabela 5.** Visão geral da fertilidade dos solos do Cerrado e da Amazônia brasileira.

Característica	"Adequado"	Cerrado	Amazônia <sup>(1)</sup>
N %	0,13-0,16	0,09	0,13
pH água	6,0-6,5	5,0	4,5
P disponível, mg dm <sup>-3</sup> <sup>(2)</sup>	10-15	0,4	1,6
S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	10-15	7	7
Cátions trocáveis, mmol dm <sup>-3</sup>			
K <sup>+</sup>	2-3	0,8	1
Ca <sup>2+</sup>	30-40	2,5	4,8
Mg <sup>2+</sup>	10-15	0,9	2,3
Al <sup>3+</sup>	< 6	6	5
% T			
K <sup>+</sup>	3,0-5,0	1	1
Ca <sup>2+</sup>	50-60	10	6
Mg <sup>2+</sup>	10-15	10	3
V, %	50-70	30	10
Saturação em Al <sup>3+</sup> (%)	< 30	59	44
Micronutrientes, em mg dm <sup>-3</sup>			
B <sup>(3)</sup>	0,5-1,0	0,10	?
Cu <sup>(2)</sup>	0,8-1,6	0,6	?
Fe <sup>(2)</sup>	30-40	32	?
Mn <sup>(2)</sup>	10-20	8	?
Zn <sup>(2)</sup>	1-5	0,6	?

(1) Média ponderada LA, LVA e PVAd; (2) Mehlich-1; e (3) Água quente  
Fonte: Malavolta (1992b).

**Tabela 6.** Recomendação Oficial de Calagem e Adubação para a cultura do algodão no Estado de Pernambuco.

Teor no solo	Condição de manejo <sup>1/</sup>			
	Sequeiro		Irrigado	
	Plantio	Cobertura	Plantio	Cobertura
	kg ha <sup>-1</sup>			
	Nitrogênio (N)			
(não analisado)		30	30	60
	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )			
P (mg dm <sup>-3</sup> )				
< 11	60	-	80	-
11-20	50	-	60	-
> 20	40	-	40	-
	Potássio (K <sub>2</sub> O)			
K <sup>+</sup> (mmol. dm <sup>-3</sup> )				
< 1,2	-	60	30	30
1,2-2,3	-	40	20	20
> 2,3	-	20	10	10

<sup>1/</sup> Sequeiro:

Cultivar: - CNPA 7H, CNPA PRECOCE 1 E 2  
CNPA 7H E IAC - 22

Espaçamento - 1,00 x 0,20 m

Densidade - 100.000 plantas/ha (2 planas/cova)  
plantas ha<sup>-1</sup> (2 plantas/cova)

Produtividade média - 1000 kg/ha em caroço

em caroço

Produtividade esperada - 1500 kg/ha em caroço

em caroço.

Calagem (t/ha): NC = f x Al<sup>3+</sup> ou NC = [20 - (Ca + Mg, mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)]/10 (usar o maior valor) - calagem: idem

f = 1,5; 2 ou 2,5 para solos arenosos, médios ou argilosos.

Matéria orgânica: se disponível, 10 a 20 m<sup>3</sup>/ha de esterco de curral bem curtido.

OBS.: Fazer a cobertura ao lado das fileiras após o desbaste, usando N como sulfato de amônio; fazer aplicação única no plantio de sequeiro e em duas aplicações, quando irrigado: após o desbaste e 45 dias após a primeira.

OBS.: Destaques discutidos no texto.

Fonte: Cavalcanti (1998).

Irrigado:

- CNPA PRECOCE 2,

- 1,00 x 0,20 m

- 100.000

- 2.500 kg ha<sup>-1</sup>

- 3.000 kg ha<sup>-1</sup>



**Tabela 7.** Recomendação de adubação para a cultura do algodão no Estado de São Paulo.

Adubação de fundação						
Produtividade esperada	Nitrogênio	P resina, mg dm <sup>-3</sup>				
		0-6	7-15	16-40	41-80	>80
t ha <sup>-1</sup>	N, kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				
1,5 – 2,0	10	80	60	40	30	20
2,0 – 2,4	10	100	80	60	40	30
> 2,4	10	120	100	80	60	40
Produtividade esperada	CTC	K resina + trocável, mmol. dm <sup>-3</sup>				
		0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	3,1-6,0	>6,0
t ha <sup>-1</sup>	mmol./dm <sup>-3</sup>	K <sub>2</sub> O				
1,5 – 2,0	Até 60	60	40	30	20	20
	>60	80	60	40	30	20
2,0 – 2,4	Até 60	80	60	40	20	20
	>60	80 <sup>(1)</sup>	80	60	40	30
> 2,4	Até 60	80 <sup>+</sup>	80	60	40	30
	>60	80 <sup>+</sup>	80 <sup>+</sup>	80	60	40
Classe de disponibilidade	Boro			Dose de B recomendada		
	Solo <sup>(2)</sup>	Folha <sup>(3)</sup>	kg ha <sup>-1</sup>			
	mg dm <sup>-3</sup>	mg kg <sup>-1</sup>				
Muito baixa (MB)	<0,2	<20	1,0-1,2			
Baixa	0,2-0,4	20-35	0,8-1,0			
Média	0,4-0,6	35-50	0,5-0,8			
Alta	>0,6	>50	-			
Adubação de cobertura						
Produtividade esperada	Classe de resposta a N <sup>(4)</sup>			CTC mmol. dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup> , mmol. dm <sup>-3</sup>	
	Alta	Média	Baixa		0-0,7	0,8-1,5
t/ha	N, kg/ha			K <sub>2</sub> O, kg/ha		
1,5-2,0	40	30	15	-	-	-
2,0-2,4	50	40	20	> 60	20	-
> 2,4	70	50	30	Até 60	20	-
				> 60	40	20

(1) \* Complementar com adubação em cobertura; (2) Resposta a N: **ALTA** - Solos intensamente cultivados e adubados ou desgastados, erodidos; **MÉDIA** - Solos ácidos ou em vias de correção, moderadamente adubados; **BAIXA** - Solos de derrubada recente, em pousio prolongado ou após rotação com leguminosas. Nesses casos, incorporar os restos vegetais com pelo menos dois meses de antecedência ao plantio  
OBS.: Destaques discutidos no texto, relacionados nos teores dos nutrientes na Tab.4.

Fonte: Silva (1999).

**Tabela 8.** Recomendação de adubação para a cultura do algodão nos Estados de Mato Grosso (MT) e Mato Grosso do Sul (MS).

Adubação no Estado de Mato Grosso							
P Mehlich-1	pH (em água)			K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	CTC ou T (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		
	< 5,5	5,5-6,0	> 6,0		< 25	25-50	> 50
mg dm <sup>-3</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )				K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )		
< 5	70-80	60-70	50-60	< 1,0	40-50	50-60	60-80
06/out	60-70	50-60	40-50	1,0-2,0	30-40	40-50	50-60
nov/20	50-60	40-50	30-40	2,0-3,0	20-30	30-40	40-50
> 20	40-50	30-40	20-30	> 3,0	20	20-30	30-40
Adubação no Estado de Mato Grosso do Sul							
P-resina	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	CTC ou T (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				
			0-40	40-80	> 80		
mg dm <sup>-3</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )				
0-6	100	0-0,7	60	60	80 <sup>a</sup>		
jul/15	80	0,8-1,5	60	60	60		
16-40	60	1,6-3,0	40	60	60		
41-80	40	3,1-6,0	20	40	60		
> 80	20	> 6,0	20	20	40		

<sup>a</sup>Complementar com cobertura de 25 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

OBS.: Aplicar 10 a 15 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio e 20 a 30 kg ha<sup>-1</sup> de S no plantio ou cobertura com sulfato de amônio. Aplicar preventivamente 0,5 a 1,2 kg ha<sup>-1</sup> de Boro e 4,5 a 5,5 kg ha<sup>-1</sup> de Zinco.

Aplicar N em cobertura em função da intensidade de uso do solo: i) solos intensamente cultivados adubados, ou desgastados e erodidos - 30 a 50 kg ha<sup>-1</sup>; ii) **solos ácidos ou em vias de correção, moderadamente adubados - 20 a 40 kg ha<sup>-1</sup>**; iii) solos de derrubada recente, ou em pousio prolongado ou, ainda, após rotação com leguminosas - 15 a 25 kg ha<sup>-1</sup>  
OBS.: Destaques discutidos no texto

Fonte: Staut e Kurihara (1998), a partir de vários autores

por sua retirada, seja por sua adição ao sistema.

Esta propriedade do solo se chama capacidade tampão e tem grande influência no uso eficiente dos fertilizantes aplicados.

A partir das análises de solo apresentadas na Tabela 4, é possível estabelecer as doses dos diferentes nutrientes recomendados para a obtenção da produtividade esperada. Nas Tabelas 5, 6 e 7 estão marcados os valores recomendados correspondentes à fertilidade dos solos mostrados, na Tabela 4. O resultado deste exemplo pode ser visto na Tabela 9.

#### 4.4. Cálculo da quantidade de fertilizantes

O nível de disponibilidade de nutrientes à planta é de primordial importância no rendimento das culturas.

Para se determinar as necessidades de nutrientes do solo e sua correção, três etapas devem ser consideradas: o problema deve ser diagnosticado, a deficiência deve ser determinada e a quantidade de fertilizante necessária para se conseguir a produção desejada, deve ser estabelecida.

Esta quantidade é calculada em função da composição (nutrientes presentes e seus respectivos teores) do fertilizante que vai ser aplicado e da quantidade do nutriente recomendada pelo laboratório que efetuou a análise do solo. Nas Tabelas de 1A a 14A dos anexos, pode verificar-se a composição média de alguns fertilizantes e corretivos da acidez e da alcalinidade do solo.

Para se calcular a quantidade de fertilizante a ser aplicada, estabelece-se a relação entre a quantidade de nutriente recomendada pelo laboratório e a quantidade do nutriente existente no fertilizante.

No caso da recomendação feita na Tabela 9, pode-se calcular quanto dos fertilizantes nitrogenados (N), fosfatados (como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e potássicos (como K<sub>2</sub>O) devem ser aplicados ao solo para suprir a quantidade de nutrientes NPK recomendados.

Totalizando os valores dos nutrientes recomendados em plantio e cobertura e arranjando na forma de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, tem-se:

Solo da Paraíba:

Sequeiro: 30-60-20 kg/ha

Irrigado: 90-80-20 kg/ha

**Tabela 9.** Recomendações geradas.

Local	Produção esperada	Calcário	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
			Plantio	Cobertura		Plantio	Cobertura
	t ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>				
Paraíba							
Sequeiro	1,5	-	30	-	60	20	-
Irrigado	3	-	30	60	80	10	10
São Paulo							
	>2,4	7,0 <sup>1/</sup>	10	50 <sup>2/</sup>	100	80 <sup>5/</sup>	-
Mato Grosso							
	>2,0	3,8 <sup>1/</sup>	15	40 <sup>3/</sup>	80 <sup>4/</sup>	60 <sup>6/</sup>	-

<sup>1/</sup> NC calculada pelo método da saturação por bases trocáveis (V<sub>2</sub> = 60%);

<sup>2/</sup> Classe de resposta a N média e produtividade > 2,4 t ha<sup>-1</sup>; <sup>3/</sup> Solo ácido em vias de correção, moderadamente adubado; <sup>4/</sup> pH < 5,5; <sup>5/</sup> CTC < 60 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; <sup>6/</sup> CTC de 25 a 50 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

OBS.: Seguir as recomendações técnicas quanto à época, modo de aplicação e produtos recomendados

Solo de São Paulo: 60-100-80 kg/ha

Solo de Mato Grosso: 55-60-80 kg/ha

- Pode-se calcular a quantidade dos fertilizantes da seguinte forma:

a) transformação direta do teor do nutriente no adubo em quantidade de fertilizantes:

No solo da Paraíba (sequeiro) quer-se aplicar 30 kg/ha de N como sulfato de amônio (que tem em sua composição 20,5% de N), 60 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato triplo (44% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 20 kg/ha de K<sub>2</sub>O como cloreto de potássio (60 % de K<sub>2</sub>O). Para se calcular a quantidade do adubo, estabelece-se a seguinte relação:

#### Sulfato de amônio

Se em 100 kg de sulfato de amônio há 20,5 kg de N,

para se aplicar 30 kg de N são necessários:

100 kg de sulfato      ®      20,5 kg de N

x                              ®      30,0 kg de N

$$x = 100 \times 30 \div 20,5 \Rightarrow x = 146,3$$

Logo, serão necessários 146,3 kg/ha de sulfato de amônio.

#### . Superfosfato triplo

Se em 100 kg de superfosfato triplo há 44 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, para aplicar se 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são necessários:

100 kg de superfosfato      ®      44 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

x                                      ®      60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

$$x = 100 \times 60 \div 44 \Rightarrow x = 136,3$$

Logo, serão necessários 136,3 kg/ha de superfosfato triplo.

#### . Cloreto de potássio

Se em 100 kg de cloreto de potássio há 60 kg de K<sub>2</sub>O, para se aplicar 20 kg de K<sub>2</sub>O são necessários:

100 kg de cloreto      ®      60 kg de K<sub>2</sub>O

x                                      ®      20 kg de K<sub>2</sub>O

$$x = 100 \times 20 \div 60 \Rightarrow x = 33,4$$

Logo, serão necessários 33,4 kg/ha de cloreto de potássio.

b) Usando-se fatores de multiplicação:

Nas Tabelas 1A-4A, 6A e 9A pode-se obter os fatores de multiplicação necessários para transformar a quantidade de nutriente recomendada na quantidade de adubos a aplicar. Este procedimento segue a fórmula geral:

Quantidade de adubo = quantidade do nutriente recomendado x f

Em que f é um fator de multiplicação (f = 100/percentual do nutriente no adubo).

Assim, para o solo da Paraíba será necessário usar-se por hectare:

Sulfato de amônio:  $4,878 \times 30 = 146,3 \text{ kg}$

Superfosfato triplo:  $2,273 \times 60 = 136,4 \text{ kg}$

Cloreto de Potássio:  $1,667 \times 20 = 33,3 \text{ kg}$ .

Os adubos com o mesmo tamanho de partículas (preferencialmente) e que não tenham higroscopicidade (capacidade de absorver água do ar) alta e que não reajam entre si com possibilidade de perda do nutriente por volatilização (e.g., calcário x uréia) ou por formação de compostos insolúveis, podem ser misturados e aplicados diretamente ao solo. A Figura 3 mostra a compatibilidade existente entre os diferentes adubos comumente usados.

Figura 3: Tabela de compatibilidade entre vários fertilizantes. A tabela é triangular, mostrando a compatibilidade entre diferentes tipos de fertilizantes listados no eixo vertical e horizontal. As células contêm as letras C, CL ou I, indicando o nível de compatibilidade. Uma legenda no canto superior direito define: C (COMPATÍVEIS: Podem ser misturados), CL (COMPATIBILIDADE LIMITADA: Devem ser misturados pouco antes da aplicação) e I (INCOMPATÍVEIS: Não podem ser misturados).

Fig. 3. Compatibilidade entre vários fertilizantes

O mesmo cálculo pode ser feito para os micronutrientes (Tabelas 5A e 6A). Caso seja necessário aplicar 1,2 kg/ha de B (Silva, 1999), como bórax, e 5,5 kg/ha de Zn (STAUT e KURIHARA, 1998), como sulfato de zinco, serão necessários (ver Tabela 6A):

- Bórax:  $1,2 \text{ kg de B} \times 9,1 = 11,0 \text{ kg}$

- Sulfato de zinco:  $5,5 \text{ kg de Zn} \times 5,0 = 27,5 \text{ kg/ha}$

Os adubos orgânicos (Tabelas 7A-9A) podem ser usados no solo como fonte de um ou mais nutrientes e, em alguns casos, como substituto da adubação mineral em exploração intensiva de pequenas áreas, quando disponível em quantidade e a baixo custo (DE-POLLI e SOUTO, 1995). Para esse tipo de

adubo, esses cálculos mostram a quantidade a ser aplicada caso, se tome por base a recomendação para um dos nutrientes.

- Para se aplicar 60 kg/ha de  $P_2O_5$ , por exemplo, seriam necessários:

- esterco de bovino:  $111,11 \times 60 = 6.667 \text{ kg/ha}$

- esterco de galinha:  $33,33 \times 60 = 2000 \text{ kg/ha}$

- composto orgânico:  $71,43 \times 60 = 4.286 \text{ kg/ha}$

O uso de 6.667 kg/ha de esterco de bovino (aproximadamente  $13 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) leva ao solo 60 kg de  $P_2O_5$ , (6.667/58,82), 113 kg de N e 93 kg de  $K_2O$  (6.667/71,43) Essas quantidades estão acima do NPK recomendado. Entretanto, esses nutrientes precisam ainda ser liberados, através da lenta mineralização pelos microrganismos do solo, para então serem aproveitados pelas plantas e, enquanto os nutrientes estão sendo liberados, uma grande parte pode ser imobilizada pelos microrganismos. Portanto, a fração efetivamente tornada disponível para as plantas pode não ser suficiente para abastecê-las na quantidade requerida nos períodos de grande demanda. Daí por que o adubo orgânico é considerado pouco eficiente nutricionalmente. Seu maior proveito, no geral, tem sido creditado aos efeitos benéficos nos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo (Tabela 10A). Seu uso, em conjunto com os adubos minerais, é mais vantajoso, pois potencializa a eficiência destes, diminuindo-lhes as perdas (MALAVOLTA, 1989). Em todo caso, é sempre importante observar o teor de umidade do adubo orgânico (Tabela 8A) e as viabilidades técnica e econômica do seu uso.

Como os cálculos da quantidade de fertilizantes ou adubos necessários são feitos para fins de compra do produto no mercado e, principalmente, para sua distribuição no solo, eles devem ser feitos também em função da forma de aplicação: se por ocasião do plantio ou em cobertura.

c) Pelo cálculo de fórmulas ou mistura de adubos

Cerca de 90% dos fertilizantes usados no Brasil são aplicados como mistura ou fórmula de adubos.

Trata-se de uma maneira prática e rápida, de baixo custo e eficiente de distribuir os nutrientes necessários ao solo para nutrir as plantas cultivadas (MALAVOLTA, 1989). Essas fórmulas podem ser preparadas pelo agricultor ou compradas no mercado.

As fórmulas de adubos são constituídas pela mistura de dois ou mais fertilizantes simples, compatíveis, de modo que seus teores percentuais de N -  $P_2O_5$  -  $K_2O$  somados sejam iguais ou maiores que 24%. Eles podem ter macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) e/ou um ou mais micronutrientes, conforme o interesse do agricultor (MALAVOLTA, 1992a, 1989).

O mercado geralmente oferece diversas formulações de adubação que podem atender às necessidades do agricultor. As mais comuns são: 20-0-20; 20-0-10; 10-10-10; 10-10-20; 12-6-12; 10-5-20; 20-5-10; 20-5-20; 4-16-8; 4-16-16; 2-20-4; 2-20-8; 0-20-10; 0-20-20; e 0-10-20.

Para se calcular a necessidade de adubo ou da formulação comercial a ser comprada, é necessário:

(1) Observar qual a relação entre os nutrientes recomendados, em fundação e cobertura, separadamente

No caso do solo de São Paulo, apenas o N terá parte fornecida em cobertura na forma de adubo simples (sulfato de amônio, preferencialmente). Na fundação, o recomendado é: 10 kg/ha de N; 100 kg/ha de  $P_2O_5$ ; e 80 kg/ha de  $K_2O$ , ou seja, 10-100-80 kg/ha de NPK. Dividindo-se tudo pelo menor valor (10), tem-se a relação 1-10-8 de NPK. Qualquer formulação com essa relação pode ser usada. Como não se trata de uma fórmula comum no mercado, pode-se fazer ou mandar misturar a fórmula 2-20-16 ou 3-30-24, com ou sem micronutrientes, para uso particular.

Uma fórmula de adubo 2-20-16 significa que em 100 kg da mistura existem 2 kg de N, 20 kg de  $P_2O_5$  e 16 kg de  $K_2O$ .

(2) Calcular a quantidade da mistura a ser usada

- Pela relação existente entre as quantidades de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  recomendadas e seus respectivos teores percentuais nas fórmulas.

Exemplo: solo São Paulo da Tabela 9

Doses recomendadas: 10-100-80 kg/ha de N- $P_2O_5$ - $K_2O$ , respectivamente.

Fórmula disponível: 2-20-16

Quantidade necessária:

- Tomando-se como referência a proporção dos nutrientes da fórmula, tem-se:

$$N: 100 \times 10/2 = 500 \text{ kg}$$

$$P_2O_5: 100 \times 100/20 = 500 \text{ kg}$$

$$K_2O: 100 \times 80/16 = 500 \text{ kg}$$

Assim, é necessário aplicar-se 500 kg/ha da fórmula 2-20-16 para fornecer os nutrientes em fundação necessários ao solo de São Paulo. Como a relação NPK da mistura é a mesma da recomendação, qualquer elemento tomado como referência fornece os mesmos valores.

- Pela divisão dos somatórios

Divide-se o somatório das quantidades de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  recomendadas pelo somatório dos teores percentuais desses nutrientes na fórmula e se multiplica por 100.

Exemplo: solo São Paulo da Tabela 9

Doses recomendadas: 10-100-80 kg/ha de N- $P_2O_5$ - $K_2O$ , respectivamente.

Fórmula disponível: 2-20-16

$$\text{Quantidade necessária: } 100 \times (10 + 100 + 80) / (2 + 20 + 16) = 500 \text{ kg}$$

Muitas vezes, não se encontra no mercado uma fórmula com as mesmas relações dos nutrientes recomendados com base na análise de solo. No geral, aceita-se o uso de fórmulas já existentes no mercado, que sejam ligeiramente diferentes nos

teores em relação à necessidade apresentada pela recomendação. (MALAVOLTA, 1989). Entretanto, é necessário observar se o preço adicional a ser pago pela fabricação de uma fórmula adequada a dada situação, é equivalente ao custo da aquisição e aplicação em separado do nutriente posto em excesso pela fórmula oferecida no mercado. Se o valor for maior e o excesso de nutriente previsto não tiver implicações relevantes em possível desbalanço nutricional para a planta, é melhor comprar a formulação comercial. Caso contrário, deve-se complementar a mistura com o adubo simples necessário e aplicá-los conjuntamente. Entretanto, não se deve usar fórmula isolada que aplique menos que o necessário de qualquer um dos nutrientes recomendados. Caso se confirme, pelas análises de solo subseqüentes, um acúmulo diferencial nos teores dos nutrientes no solo, deve-se suspender o uso da fórmula e readequar a adubação para a nova situação.

Maiores informações sobre como misturar fórmulas específicas de adubos podem ser encontradas nas obras de Malavolta (1992a, 1989, 1981).

#### 4.5. Distribuição dos adubos no solo

Uma vez determinadas a quantidade de adubo a ser usada e a época de aplicação (plantio ou cobertura) o próximo passo é a distribuição deste fertilizante no solo.

Em caso de culturas anuais plantadas em covas, parte dos adubos deve ser distribuída no fundo da cova e separada da semente por uma pequena camada de solo, na operação de cultivo (adubação de plantio ou fundação). A outra parte deve ser aplicada em cobertura, na superfície do solo e ao lado da planta. Neste caso, é importante misturar o adubo com o solo e, quando possível, cobri-lo com 2-5 cm de terra.

No algodoeiro herbáceo plantado em covas no espaçamento de 1,00 m entre linha por 0,20 m entre covas, se em cada cova for semeada uma semente, a planta germinada ocupará uma área de (1 m x 0,2 m =) 0,2 m<sup>2</sup>. Assim, em um hectare (10.000 m<sup>2</sup>) tem-se uma população de (10.000 m<sup>2</sup>/

0,2 m<sup>2</sup> =) 50.000 plantas/ha. Se forem semeadas duas sementes por cova, ter-se-á 100.000 plantas/ha.

Admitindo-se uma adubação de 500 kg/ha da fórmula 2-20-16 no plantio, será necessário aplicar-se:

⇒ por linha = 500 kg ÷ número de linhas em 1 ha  
(100,00 m de lado/1,00 m = 100 linhas)

= 500 kg ÷ 100 linhas = 5 kg/linha

⇒ por cova = 500.000 g ÷ 50.000 covas = 10 g/cova

Se a adubação for feita em linhas, com 100 m cada uma, deverão ser gastos (5.000 g , 100m =) 50 g de adubo/m de linha.

Na Tabela 10 pode-se ver como determinar a quantidade de adubo a ser aplicado no algodoeiro cultivado em linha e em covas.

#### Cálculo da Necessidade de Corretivos em Função da Análise do Solo

##### 5.1. A reação do solo (pH) e sua importância para a planta

A reação do solo (medida pelo pH, ou potencial de hidrogênio) é uma importante característica do solo

**Tabela 10.** Quantidade de adubo em função do espaçamento em linha e de dois espaçamento em covas.

Quant. de adubo	Espaçamento								
	Linhas (distância em m)							Cova (em m)	
	0,25	0,45	0,50	0,76	0,90	0,96	1,00	1 x 0,2	1 x 0,3
	g/10 m lineares de suco							g	
100	25,0	45,0	50	76	90	96	100	2	3,0
150	37,5	67,5	75	114	135	144	150	3	4,5
200	50,0	90,0	100	152	180	192	200	4	6,0
250	62,5	112,5	125	190	225	240	250	5	7,5
300	75,0	135,0	150	228	270	288	300	6	9,0
350	87,5	157,5	175	266	315	336	350	7	10,5
400	100,0	180,0	200	304	360	384	400	8	12,0
450	112,5	202,5	225	342	405	432	450	9	13,5
500	125,0	225,0	250	380	450	480	500	10	15,0
550	137,5	247,5	275	418	495	528	550	11	16,5
600	150,0	270,0	300	456	540	576	600	12	18,0
650	162,5	292,5	325	494	585	624	650	13	19,5
700	175,0	315,0	350	532	630	672	700	14	21,0
750	187,5	337,5	375	570	675	720	750	15	22,5
800	200,0	360,0	400	608	720	768	800	16	24,0
850	212,5	382,5	425	646	765	816	850	17	25,5
900	225,0	405,0	450	684	810	864	900	18	27,0
950	237,5	427,5	475	722	855	912	950	19	28,5
1000	250,0	450,0	500	760	900	960	1000	20	30,0



e serve para indicar se ele é ácido, neutro ou alcalino. Um solo ácido tem, geralmente, baixos teores de bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ), altos teores de alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) tóxico às plantas e os teores disponíveis de Fe e Mn podem ser tão altos que se tornam tóxicos para as plantas. Por outro lado, a adsorção de fósforo e sulfato é aumentada, diminuindo a eficiência da adubação.

A planta retira seus nutrientes diretamente da solução do solo. O pH dessa solução afeta diretamente a eficiência da absorção de nutrientes pelas células das raízes da planta e, assim, afetam sua produtividade (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995). As plantas absorvem eficientemente os nutrientes em soluções com pH 6,0 a 7,0. À medida que o valor de pH decresce, a absorção relativa de cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$ ) diminui e a de ânions ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{MoO}_4^-$ ) aumenta, ocorrendo o inverso quando o pH da solução atinge valores superiores a 7,0. Para valores de pH abaixo de 4 em solos com baixos teores de cálcio, as plantas cultivadas podem ter as membranas celulares rompidas e parar de absorver nutrientes. Para valores de pH acima de 8,5, as plantas têm dificuldade de se ajustar osmoticamente. À medida que os valores do pH aumentam ou diminuem em direção aos extremos, a produtividade é drasticamente reduzida e a eficiência da adubação tende ao mínimo possível.

A solubilidade dos nutrientes, também, depende do pH da solução do solo. As concentrações de  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  em solução aumentam 1000 vezes para cada redução de uma unidade de pH. As concentrações de  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$  são reduzidas em 100 vezes a cada aumento de uma unidade de pH (LINDSAY, 1979).

As reservas de nutrientes na matéria orgânica deixam de ser utilizadas em solos com pH baixo, pois os agentes (bactérias) que a mineralizam rapidamente e liberam os nutrientes (principalmente N, S e B) para as plantas, trabalham ativamente em pH próximo da neutralidade. Em pH ácido, fungos e actinomicetos mineralizam lentamente a matéria orgânica (MALAVOLTA, 1985). Por isso, um

programa de adubação, para ser bem feito, deve considerar a necessidade calagem.

Em sua maioria, os solos brasileiros são ácidos.

As principais causas da acidez são a lavagem do perfil do solo pelas águas da chuva, a retirada do cálcio e do magnésio pelo cultivo intensivo, a erosão que remove a camada mais superficial do solo, que possui maiores teores de bases, e a adubação com fertilizantes nitrogenados contendo amônio, como o sulfato de amônio, nitrato de amônio e uréia. A mineralização da matéria orgânica fornece  $\text{NH}_4^+$  ao solo; este, ao ser transformado em  $\text{NO}_3^-$ , também contribui para a sua acidificação.

O pH adequado para a maioria das culturas situa-se na faixa de 6,0 a 7,0.

As plantas têm dificuldade de viver em solos com reação inferior a 4,0 ou superior a 9,0. Raramente se encontram solos nessas condições. Porém, mesmo na faixa de 4,0 a 9,0, pode haver problemas de solubilidade e assimilação de nutrientes, o que exige correção do solo. Na Tabela 11 pode-se ver a faixa de pH mais adequada para as diferentes culturas.

## 5.2. A Correção da acidez superficial - Calagem

Calagem é a tecnologia empregada com o objetivo principal de corrigir a acidez e, conseqüentemente, melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo. A calagem contribui, também, para a elevação da eficiência dos fertilizantes e para

**Tabela 11.** Faixas de pH mais adequadas para algumas culturas.

Cultura	pH mais favorável	Cultura	pH mais favorável	Cultura	pH mais favorável
Aboboreira	5,5-6,5	Capins	5,5-7,0	Melancia	5,0-5,5
Aipo	6,0-7,0	Cebola	6,0-6,5	Milho	5,5-7,0
Alface	6,0-7,0	Cenoura	5,7-7,0	Morangueiro	5,2-6,5
Alfafa	6,5-7,5	Centeio	5,5-7,0	Mostarda	5,5-6,5
Algodoeiro	5,5-6,5	Cevada	5,5-7,0	Nabo	5,5-6,5
Arroz	5,0-6,5	Cítricos	5,0-7,0	Pepineiro	5,5-6,7
Aspargo	6,0-7,0	Couve	5,7-7,0	Pimentão	5,5-6,5
Aveia	5,5-7,0	Couve-flor	6,0-7,0	Quiabeiro	6,0-6,5
Batatinha	5,5,5	"Cowpea"	5,5-7,0	Repolho	5,7-7,0
Batata doce	5,0-5,7	Ervilha	6,0-7,0	Soja	5,5-7,0
Beringela	5,5-6,0	Espinafre	6,0-7,0	Sorgo	5,5-7,0
Beterraba	6,0-7,0	Feijoeiro	5,5-6,7	Tomateiro	5,5-6,7
Cafeeiro	5,5-6,5	Fumo	5,2-5,7	Trevos	6,0-7,0
Cana-de-açúcar	5,5-6,5	Macieira	5,7-7,5	Trigo	6,0-7,0

Fonte: Malavolta (1989).

o aumento da disponibilidade de nutrientes existentes no solo, o que proporciona o incremento da produtividade e, conseqüentemente, a rentabilidade da atividade agrícola (CAVALCANTI et al., 1998).

O sucesso da calagem depende principalmente de três fatores: da dose adequada, da qualidade do produto e da aplicação correta.

### 5.2.1. A Prática da Calagem

Depois de constatada a necessidade de calagem pela análise do solo e visto as características da planta a ser cultivada, deve-se atentar para os seguintes aspectos:

Tipo de corretivo a ser utilizado

Os calcários são os corretivos mais freqüentemente usados por sua abundância na natureza e pelos seus menores custos. Eles são classificados, segundo a legislação brasileira (Portaria SEFIS nº 03, de 12/06/86) quanto:

- À concentração de óxido de magnésio (MgO) em:

- a) Calcítico – menos de 5% de MgO (possui 40 a 45% de CaO);
- b) Magnesiano – de 5% a 12% de MgO (30 a 40% de CaO);
- c) Dolomítico – acima de 12% de MgO (25 a 30% de CaO).

- Ao poder relativo de neutralização total (PRNT)

Faixas: A – PRNT entre 45,0 a 60,0 %

B – PRNT entre 60,1 a 75,0 %

C – PRNT entre 75,1 a 90,0 %

D – PRNT superior a 90,0 %

O PRNT é calculado pela relação:  $PRNT = (PN \times RE\%) / 100$ , onde PN é o poder de neutralização do calcário medido em laboratório e expresso como equivalente de  $CaCO_3$ , e RE% é a reatividade do calcário e mostra a capacidade de reação de seus

diferentes tamanhos de partículas em um período de três meses. Assim, o PRNT é o percentual do poder de neutralização do calcário que efetivamente, reage no solo em três meses de contato sob condições ótimas de temperatura e umidade. Na Tabela 11A pode-se ver os principais neutralizantes constituintes dos corretivos e sua equivalência em  $CaCO_3$ , e na Tabela 12A, as informações necessárias para calcular a reatividade do calcário.

O calcário deve ter o valor da soma dos teores de CaO e MgO superior a 38%, o valor do PN maior que 67% (Equivalente de  $CaCO_3$ ) e o PRNT maior que 45%.

Quantidade de calcário a se aplicar

Existem vários métodos para se calcular a quantidade de calcário a se utilizar. Os três principais utilizados no Brasil para estimar a necessidade de calagem, são: a) neutralização da acidez trocável e da elevação dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (ALVAREZ VÊNEGAS e RIBEIRO, 1999); b) saturação por bases (QUAGGIO e RAIJ, 1996; ALVAREZ VÊNEGAS e RIBEIRO, 1999) e c)  $pH_{SMP}$  (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC, 1995). Uma comparação entre esses métodos pode ser encontrada em Melo (1985) e Alvarez Vênegas et al. (1995). Abaixo, são descritos os métodos mais usados no Brasil.

a) Método da neutralização do  $Al^{3+}$  e fornecimento de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$

Este método tem várias adaptações. Em alguns casos, toma-se como princípio a neutralização do  $Al^{3+}$ , visto que ele é tóxico para as plantas. Assim, a necessidade de calcário (NC, t/ha) é calculada pela relação:

$$NC \text{ (t/ha)} = f/10 \times Al^{3+} \text{ (em mmol}_c \text{ dm}^{-3})$$

onde f é um fator de multiplicação que depende do teor de argila, usando-se 1,5 para solos com teor de argila até 15%, 2,0 para solos com teor de argila até 35% e 2,5 para solos com teor de argila maior que 35%, em Pernambuco. Para Minas Gerais, usa-se  $f = 1, 2$  e  $3$ , respectivamente.

Algumas vezes usa-se o princípio da necessidade de fornecer, no mínimo, 20 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> ao solo para que as plantas tenham um crescimento radicular satisfatório. Assim, a necessidade de calagem pode ser calculada:

$$NC(t/ha) = [20 - (Ca^{2+} + Mg^{2+}, \text{ em mmol}_c \text{ dm}^{-3})]/10$$

O somatório de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> no solo pode ser aumentado de 20 (maioria das culturas) para 30 ou 35 (culturas irrigadas, algodão, café, tomate) ou diminuído para 10 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (eucalipto) conforme a exigência da planta (ALVAREZ VÊNEGAS et al., 1995; ALVAREZ VÊNEGAS e RIBEIRO, 1999; LIMA JÚNIOR e LIMA, 1998).

Alguns Estados (em especial, os nordestinos) recomendam o uso da fórmula supracitada, que implica no maior valor de calcário. Os Estados de Goiás e Minas Gerais usam o somatório das duas fórmulas:

$$NC(t/ha) = \{Y \times Al^{3+} + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+}, \text{ em mmol}_c \text{ dm}^{-3})]\}/10$$

sendo X (em mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) função da exigência das culturas, conforme sugestão apresentada na Tabela 13, e Y (1, 2 e 3) em função do teor de argila.

Recentemente, tem sido introduzido o P-remanescente, para discriminar melhor os valores de Y (ALVAREZ VÊNEGAS e RIBEIRO, 1999).

A neutralização do Al<sup>3+</sup> pode fornecer um valor de pH inferior ao necessário para eliminar a toxidez por Mn<sup>2+</sup> e Fe<sup>2+</sup>, além dos teores de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> alcançados não serem suficientes para o máximo crescimento das plantas. Por outro lado, no fornecimento de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> para as plantas o uso dos valores inteiros de X em 10, 20 e 30 é arbitrário (MALAVOLTA, 1985). Quando os princípios anteriores são usados em conjunto, a metodologia torna-se trabalhosa, pois exige a determinação da textura ou do P-remanescente, com sua tabela de valores de interpretação. Além disso, Alvarez Vênegas et al. (1995) são da opinião de que, com a adoção de todos os ajustes propostos, o método se assemelha ao método da saturação de bases. Este é mais simples e de formulação teórica mais

consistente, podendo ser usado com mais facilidade.

#### b) Método da saturação de bases trocáveis

Este método se baseia na relação existente entre o volume de saturação de bases trocáveis e o pH do solo. A necessidade de calagem é calculada por:

$$NC(t/ha) = (V_2 - V_1)T/100$$

onde V é o volume de saturação de bases trocáveis (V% = 100 SB/T, com SB = Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup> e T = SB + Al + H; SB e T em mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). V<sub>1</sub> é o volume de saturação atual do solo e V<sub>2</sub>, aquele considerado ideal para a planta (o algodão necessita V<sub>2</sub> em 60 a 70%) (SILVA, 1999). O valor de V<sub>2</sub> para algumas culturas pode ser visto na Tabela 12.

Trata-se de uma metodologia simples de ser calculada, com excelente base teórica e que considera, efetivamente, as necessidades da cultura. É usada amplamente no Estado de São Paulo e tem

**Tabela 12.** Valores da percentagem de saturação de bases (V<sub>2</sub>) que devem ser obtidos pela calagem e valores de X do método Al e Ca + Mg trocáveis, adequados para diversas culturas.

Cultura	V <sub>2</sub>	X	Cultura	V <sub>2</sub>	X
	%	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Abacate	60	25	Goiaba	70	30
Abacaxi	50	20	Gramíneas aromáticas	40	15
Adubos verdes	60	25	Hortaliças em geral	70	30
Algodão	70	30	Leguminosas em geral	60	25
Amendoim	70	30	Mamão	80	35
Arroz <sup>1/</sup>	50	20	Mamona	60	25
Banana	70	30	Mandioca	50	20
Batata doce	50	20	Manga	60	25
Batatinha	50	20	Maracujá	70	30
Cacau	50	20	Menta, Piretra, Vetiver	60	25
Café	70	35	Milho	50	20
Camomila	70	30	Pastagens grupo 1 <sup>4/</sup>	60	25
Cana-de-açúcar	60	25	Pastagens grupo 2 <sup>5/</sup>	40	15
Cará	60	25	Pimenta do reino	70	30
Chá	40	15	Plantas ornamentais <sup>3/</sup>	60	25
Citros	70	30	Plantios de eucalipto	30	25
Crotalária júncea	70	30	Rami	70	35
Feijão	60	25	Roseira	70	30
Feijão de vagem	60	25	Seringueira	50	20
Fórmio	50	20	Sisal	70	30
Fruteira c. temperado <sup>2/</sup>	70	30	Soja	60	25
Fumo	50	20	Sorgo	50	20
Funcho	50	20	Trigo <sup>1/</sup>	60	25
Girassol	70	30	Uva	80	35

OBS.: <sup>1/</sup> Sequeiro e irrigado; <sup>2/</sup> Fruteiras de clima temperado: Ameixa, nêspera, pêssego, nectarina, figo, maçã, marmelo, pêra, caqui, macadâmia e peçã; <sup>3/</sup> herbáceas e arbustivas, arbóreas, gladiolos e gramados; <sup>4/</sup> Grupo 1: alfafa, leucena e soja perene; capins rudes, jaraguá, estrela, napier (capineira), pangola, coast-cross e green-panic (quando usado para fenação); <sup>5/</sup> Centrosema, desmódio, galáxia, cudzu, calopogônio, siratro e estilosantes; capins napier, pangola, estrela, cross-cross, green-panic (quando usado para pastejo), braquiárias, setárias e gordura

Fonte: Modificado de Alvarez Vênegas et al. (1995)

grande potencial de uso nas diversas regiões do Brasil, necessitando da calibração local dos valores de  $V_2$  para as diferentes culturas.

#### c) Método da Solução Tampão SMP

Este método foi proposto por Schomaker, McLean e Pratt para solos dos EUA, daí o seu nome. Ele tem, como princípio, o decréscimo do pH de uma solução tampão após o equilíbrio com o solo. Este decréscimo, em um amplo conjunto de solos, é relacionado com o calcário necessário para corrigir o pH do solo até valores considerados adequados (pH 6,5, 6,0 e 5,5, geralmente) obtidos por incubação de solo com  $\text{CaCO}_3$  em laboratório. Com a equação resultante, confeccionam-se tabelas de recomendação de calagem, em função do pH SMP.

Trata-se de um método simples, rápido e barato. Tem a desvantagem de não levar em conta, na sua concepção inicial, fatores ligados à planta. É usado no Paraná, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, onde se encontram solos com maior CTC e com altos teores de  $\text{Al}^{3+}$  no complexo de troca. Alvarez Vênegas et al. (1995) mostraram que as doses de calcário recomendadas por este método para 21 solos de Minas Gerais, não foram muito diferentes daquelas recomendadas pelos métodos discutidos anteriormente.

A necessidade de calagem (NC, t/ha) é calculada para aplicação de  $\text{CaCO}_3$  puro e PRNT 100% em uma superfície total de um hectare (1 ha) a uma profundidade de 20 cm. Caso a aplicação seja feita em faixa, linha ou cova e a profundidade seja diferente da recomendada, é necessário que se faça um ajuste na quantidade de calcário a ser utilizada.

A quantidade de calcário (QC, t/ha) a ser usada pode ser estimada por:

$$\text{QC (t/ha)} = \text{NC} \times \text{SC}/100 \times \text{P}/20 \times 100/\text{PRNT}$$

Onde NC é a quantidade de calcário (t/ha) estimada por um dos métodos citados; SC é o percentual da superfície de um hectare coberta pela aplicação do calcário; P é a profundidade de incorporação (em cm); e PRNT é o poder relativo de neutralização do calcário. No método da saturação de bases trocáveis

citado acima, o PRNT já está considerado na fórmula.

Caso a calagem seja feita como um investimento para vários anos, o que é o correto, não existe limite para a quantidade de calcário aplicada de uma única vez. Entretanto, para evitar o aumento do custo de produção no primeiro ano de cultivo, pela dificuldade de transporte e de armazenamento, pode-se parcelar a aplicação, quando os valores recomendados ultrapassarem 5 t/ha; porém esse parcelamento deve ser feito no máximo em dois anos, pois se pode perder a efetividade da ação corretiva do calcário (MALAVOLTA, 1985).

Na determinação do valor de necessidade de calagem no sistema plantio direto ( $\text{NC}_{\text{SPD}}$ ), deve-se levar em consideração a cultura mais sensível às condições de acidez do solo que faz parte do sistema de rotação. Verificada a necessidade da calagem, deve-se aplicar de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  da NC, calculada pelos critérios recomendados. A  $\text{NC}_{\text{SPD}}$  de  $\frac{1}{2}$  NC é indicada quando se utilizam, predominantemente, gramíneas no sistema de rotação e elevadas doses de adubos nitrogenados com grande poder de acidificação do solo. O calcário deve ser distribuído uniformemente em toda a superfície do solo, sem incorporação (OLIVEIRA et al., 2002).

- Sistema e época de incorporação no solo

- Devido à baixa solubilidade dos calcários, os seguintes fatores devem ser considerados:

a) Época de aplicação. A calagem deve ser feita em qualquer época do ano, desde que haja umidade no solo para permitir sua reação; contudo, deve anteceder de três a seis meses o plantio ou a fertilização da cultura.

b) Distribuição. A distribuição deve ser feita na camada arável, onde há maior concentração das raízes de absorção das plantas, a fim de obter uma atuação eficiente do calcário a curto prazo. A recomendação prática é a aplicação da dose total do calcário antes da aração do solo. No entanto, a pesquisa tem demonstrado que, quando a metade do calcário é aplicada antes da aração e a outra

metade, antes da gradagem, obtém-se incorporação melhor e mais uniforme.

- c) Incorporação. O calcário deve ser incorporado à maior profundidade possível da camada arável, de modo a permitir o melhor contato do corretivo com as partículas do solo. A incorporação do calcário ao solo deve ser feita através de duas gradagens transversais.

### Compra do Calcário

Na compra do calcário o agricultor deve atentar para os seguintes fatores:

- a) Granulometria. A finura do calcário afeta a velocidade de reação no solo. Por isto, na compra do calcário deve-se preferir o mais fino, porque sua ação corretiva é mais rápida.

- b) Natureza do calcário. Quando o solo possui  $Mg^{2+}$  menor que  $8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , principalmente quando se usa adubação pesada com  $K_2O$  na cultura do algodão, deve-se dar preferência à aplicação do calcário dolomítico ou magnesiano, pois evita-se o acentuado antagonismo K/Mg na planta (SILVA, 1999).

- c) Economicidade comparativa dos corretivos. Na compra do corretivo, deve-se considerar o preço do produto e o valor do PRNT (poder relativo de neutralização total) que é a capacidade do calcário de neutralizar a acidez do solo. Como os corretivos são comercializados com base na massa do produto (preço/t de calcário), pode ocorrer que o calcário mais barato à primeira vista seja aquele que mais onera o custo de produção. Por isso, sempre se deve comprar o calcário tomando-se por base o preço por tonelada efetiva do corretivo, calculada por:

Preço por tonelada efetiva =  $100 \times (\text{preço por tonelada na propriedade}) / \text{PRNT}$

Exemplo:

A tonelada do calcário A com PRNT de 90% custa R\$25,00 e a tonelada do calcário B com PRNT de 60% custa R\$20,00. A primeira vista, o calcário B é mais barato, mas quando se calcula o custo por tonelada efetiva, o seu custo é maior. Compare-se:

Calcário A =  $25,00 \times 100 / 90 = 27,78$ , ou seja, R\$27,00/tonelada efetiva

Calcário B =  $20,00 \times 100 / 60 = 33,33$ , ou seja, R\$33,33/ tonelada efetiva.

Portanto, para o agricultor é melhor comprar o calcário mais caro porque, como ele tem um PRNT maior, a quantidade de calcário necessária para neutralizar a acidez é menor e, conseqüentemente, o preço total também será menor. O valor do PRNT é informado pelo fabricante, na embalagem do produto.

### 5.3. A correção da acidez subsuperficial e da alcalinidade - A gessagem

O calcário, no geral, não corrige a acidez do solo em camadas mais profundas, além da camada arável. Neste caso, se na camada de 20 a 40 cm ou de 30 a 60 cm o teor de  $Ca^{2+}$  for menor que  $3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e/ou o  $Al^{3+}$  for maior que  $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e/ou a saturação por  $Al^{3+}$  for maior que 30%, deve-se fazer uma gessagem (Comissão De Fertilidade do Solo - MG, 1989). Outros pesquisadores, entretanto, mostram que a acidez subsuperficial é prejudicial quando o teor de  $Ca^{2+}$  é menor que 40% da CTC efetiva e/ou a saturação  $Al^{3+}$  for maior que 30% (Malavolta, 1992c). Para o algodão, Staut e Kurihara (1998) recomendam a aplicação do gesso para neutralizar a acidez subsuperficial (30 a 50 cm) quando a saturação com  $Al^{3+}$  for maior que 20% e/ou a saturação com  $Ca^{2+}$  for menor que 60% da CTC efetiva. Rosolem (2001) mostrou que, nas condições do Estado de São Paulo e para as variedades paulistas, a saturação por bases trocáveis deve atingir 60% na camada de 0 a 20 cm e 45-50% da CTC a pH 7,0 na camada de 20 a 60 cm.

A gessagem elimina o  $Al^{3+}$ , aumenta os teores de bases trocáveis ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ , principalmente) na subsuperfície e fornece cálcio e enxofre para as plantas. Além disso, o gesso pode ser usado diretamente como fornecedor de nutrientes, como condicionador de esterco (pois evita a perda de amônia durante a mineralização da matéria orgânica) e como corretivo da alcalinidade do solo. Também



pode ser usado em mistura com adubos (diminui as perdas de amônia), com o calcário e com o fosfato natural, fornecendo S para as plantas (MALAVOLTA et al., 1981).

A gessagem é feita usando-se o gesso agrícola ou fosfogesso, o qual é um subproduto da fabricação do superfosfato triplo e dos fosfatos mono (MAP) e diamônio (DAP). Suas características podem ser vistas na Tabela 13A.

O gesso deve ser aplicado junto com o calcário e distribuído uniformemente em toda a área na superfície, ou incorporado.

Os seguintes critérios podem ser adotados para a aplicação do gesso, devendo-se considerar que doses elevadas em solos de textura leve, em região com alta precipitação pluviométrica, podem provocar excessiva lixiviação de bases e de micronutrientes catiônicos, como  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$  (ALVAREZ VÊNEGAS et al., 1995):

#### Petrofertil

Princípio: Elevar os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  para  $20 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  ou reduzir os teores de  $\text{Al}^{3+}$  para  $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ :

Necessidade de Gesso (NG, em t/ha) =  $(20 - \text{Ca}^{2+}, \text{ em } \text{mmol}_c \text{ dm}^{-3})/10 \times 2,5$

NG (em t/ha) =  $(\text{Al}^{3+} - 5, \text{ em } \text{mmol}_c \text{ dm}^{-3})/10 \times 2,5$

Portanto, são necessários 2,5 t de gesso para aumentar ou trocar  $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Al}^{3+}$ , respectivamente.

Malavolta (1992c).

Princípio: Elevar a saturação de  $\text{Ca}^{2+}$  para 40% da CTC ou reduzir a saturação por  $\text{Al}^{3+}$  para menos que 20% da CTC:

NG (t/ha) =  $(0,4 \times \text{CTC efetiva} - \text{mmol}_c \text{ dm}^{-3} \text{ Ca}^{2+})/10 \times 2,5$

NG (t/ha) =  $(\text{mmol}_c/\text{dm}^3 \text{ Al}^{3+} - 0,2 \times \text{CTC efetiva})/10 \times 2,5$

Malavolta et al. (1993).

Princípio: Para a cultura do café o  $\text{Ca}^{2+}$  deve alcançar 60% da CTC efetiva:

NG =  $(0,6 \times \text{CTC efetiva} - \text{mmol}_c \text{ dm}^{-3} \text{ Ca}^{2+})/10 \times 2,5$

#### Comissão de Fertilidade do Solo - MG (1989)

Princípio: Quando o teor de argila for menor que 15%, usar 0,5 t/ha; de 15 a 35%, usar 1,0 t/ha; de 36 a 60%, usar 1,5 t/ha; e maior que 60%, usar 2,0 t/ha de gesso.

-Staut e Kurihara (1998).

Princípio: Para o algodoeiro no Cerrado de Mato Grosso, usar de 700, 1200, 2200 e 2300 kg/ha de gesso para os solos de texturas arenosa (< 15% de argila), média (15 a 35% de argila), argilosa (36 a 60% de argila) e muito argilosa (> 60% de argila), respectivamente; desde que a camada subsuperficial (30 a 50 cm) tenha saturação com  $\text{Al}^{3+}$  maior que 20% e/ou a saturação com  $\text{Ca}^{2+}$  menor que 60% da CTC efetiva.

Segundo Oliveira et al. (2002) nos solos de cerrado sob plantio direto a gessagem pode ser benéfica quando, em camadas subsuperficiais do solo, a saturação por alumínio for maior que 20% ou o teor de cálcio menor que  $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . A quantidade de gesso agrícola a ser aplicada ao solo pode ser determinada pela fórmula:

Dose de gesso ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) =  $50 \times \text{teor de argila (\%)}$

O gesso agrícola também pode ser aplicado a lanço, sem incorporação, antes ou depois do calcário.

Adicionalmente, o gesso também pode ser usado para correção da alcalinidade (excesso de  $\text{Na}^+$ ) do solo, como mostrado na Tabela 14A. Neste caso, um correto manejo da água associado ao bom funcionamento do sistema de drenagem da área é essencial para o sucesso do empreendimento.

#### Considerações finais

A recomendação de corretivos e adubos é uma tarefa mais complexa do que meramente registrar

os valores instituídos pelas pesquisas em tabelas de recomendações dos órgãos oficiais. A experiência do técnico que atua na região, o conhecimento da cultura a ser cultivada ou do sistema de rotação adotado, a disponibilidade de capital do agricultor e a análise do solo, feita periodicamente (de preferência a cada ano), além da análise foliar, são fatores fundamentais a serem considerados na correta indicação das doses a se aplicar.

A aplicação correta dos fertilizantes nas doses recomendadas, na época certa e distribuídos no solo em locais acessíveis ao sistema radicular da planta possibilitará, na presença de umidade suficiente, uma boa nutrição da cultura e as condições necessárias para se obter altas produtividades.

Um manejo correto da adubação pressupõe uma boa correção da acidez do solo sem a qual os fertilizantes não serão eficientes. A adubação deve visar à máxima produtividade econômica e o melhor uso dos recursos disponíveis, daí ser importante a consideração do nível tecnológico adotado pelo agricultor. Em caso de restrição de recursos para a correção e adubação de toda a área da propriedade, deve-se priorizar o uso da dosagem correta na maior área possível ao invés de usar subdosagens dos adubos e corretivos em toda a área. Pois assim procedendo, reduzem-se os custos fixos do manejo dos solos na propriedade e maximiza-se o retorno do investimento feito na produção agrícola (RAIJ, 1991; LOPES e GUILHERME, 1992).

## 7. Referências Bibliográficas

- ALCARDE, J.C. Qualidade de fertilizantes e corretivos. In: DECHEN, A.R.; BARRET, A.E.; VERDADE, F. da C. Coords. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. **Adubação, produtividade e ecologia**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.275-298.
- ALVAREZ VÊNEGAS, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.
- ALVAREZ VÊNEGAS, V.H. **Avaliação da fertilidade do solo**. Brasília: ABEAS, 1995. 98p. (ABEAS. Curso de Fertilidade e Manejo de Solos – Módulo XI: Avaliação da fertilidade do solo).
- ALVAREZ VÊNEGAS, V.H., MELLO, J.W.V. de, DIAS, L.E. **Acidez do solo**. Brasília: ABEAS, 1995. 61p (ABEAS. Curso de Fertilidade e Manejo dos Solos - Módulo 04 - Acidez do Solo).
- BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, L.C.F. de; RIBEIRO, V.G.; VASCONCELOS, O.S. A fibra da Bahia. **Cultivar**, n.21, p.52-53, 2000
- CAVALCANTI, F.C. da. Coord. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. Recife: IPA, 1998. 198p
- CHITOLINA, J.C., PRATA, F., SILVA, F.C. da, MURAOKA, T., VITTI, A.C. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de solo para análise de fertilidade. In: F.C. da SILVA Org. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.11-48.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DOS SESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Passo Fundo, 1995. 224p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (Lavras, MG). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação**. Lavras, 1989. 159p.
- De-POLLI, H.; SOUTO, S.M. **Manejo de resíduos orgânicos na agricultura**. Brasília: ABEAS, 1995. 31p. (ABEAS. Curso de Fertilidade e Manejo do Solo. Módulo – 14).
- HERNANI, C.C.; SALTON, J.C. Manejo e conservação do solo. In: Embrapa Agropecuária do Oeste (Dourados, MS). **Algodão: informações técnicas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste/ Campina Grande: Embrapa Algodão, 1998. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular Técnica, 7). p.26-50.

- INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998.
- LIMA JÚNIOR, M.A.; LIMA, J.F.W.F. Solos ácidos e calagem. In: CAVALCANTI, F.J. de A. Coord. **Recomendação de adubação para o estado de Pernambuco**: 2ª aproximação: 2 ed. Recife: IPA, 1998. p.65-75.
- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York: Wiley-Interscience, 1979. 279p.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilizantes e corretivos agrícolas: sugestões de manejo para uso eficiente. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba, 1992. **Adubação, produtividade e ecologia**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.39-69.
- MALAVOLTA, E. A Prática da calagem. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1985, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.313-357.
- MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5 ed. São Paulo: Ceres, 1989, 294p.
- MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. São Paulo: Ceres, 1992a. 124p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Fertilizantes, corretivos e produtividade: mitos e fatos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992b. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992b. p.89-153.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**: adubos e adubação. 3 ed. São Paulo: Ceres, 1981, 607p.
- MALAVOLTA, E. O gesso no ambiente agrícola e na nutrição da planta – perguntas e respostas. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 1992, Uberaba. **Anais...** São Paulo: IBRAFOS, 1992b. p.41-66.
- MALAVOLTA, E.; ROMERO, J.P.; LIEM, T.H.; VITTI, G.C. **Gesso agrícola**: seu uso na adubação e correção do solo. 2 ed. São Paulo: ULTRAFÉRTIL, 1981. 30p.
- MALAVOLTA, E.; FERNANDES, D.R.; ROMERO, J.P. Seja o doutor do seu cafezal. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba, n. 64, p.1-12, 1993.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba,: [s.n.], 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MELO, F. de A.F. de. Origem, natureza e componentes da acidez do solo: critérios para calagem. In: MALAVOLTA, E. (Coord.). In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1985, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. 375p.
- MESSIAS, A.S.; SILVA, D.J.; FREIRE, F.J.; SILVA, M.C.L. da. Fertilizantes. In: CAVALCANTI, F.S. de. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco** (2ª aproximação). 2 ed. Recife: IPA, 1998. p.83-97.
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. **Fertilidade do solo no sistema plantio direto**: tópicos em ciência do solo. Viçosa: UFV, 2002. v. 2, p.392-486.
- PEREIRA, S.R. Solos afetados por sais. In: CAVALCANTI, F.V. de A. (Coord.). **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. 2 ed. Recife: IPA, 1998. p.76-82.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Correção da acidez do solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. p.14-19. (Boletim Técnico, 100)
- RAIJ, B. van. Algumas reflexões sobre análise de solo para recomendação de adubação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba.

**Adubação, produtividade e ecologia:** simpósios. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.71-87.

RAIJ, B. van. Conceitos fundamentais na interpretação da análise do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina-PE. Fertilizantes: insumo básico para agricultura e combate à fome. **Anais...** Petrolina-PE: EMBRAPA Trópico Semi-Árido/SBCS, 1995. p.34-50.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343p.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington: USDA, 1969. 110p. (USDA. Agriculture Handbook, 60)

ROSOLEM, C.A. Problemas em nutrição mineral, calagem e adubação do algodoeiro. **Informações Agronômicas**, n. 95, p.10-17, 2001.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E., CARVALHO, J.G. eds. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.** Viçosa: SBCS, 1999. p.267-319.

SILVA, N.M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E; FREIRE, E.C.; SANTOS; J.W. dos. Eds. **Cultura do algodoeiro.** Piracicaba: POTAFOS, 1999. p.57-92.

STAUT, L.A., KURIHARA, C.H. Calagem, nutrição e adubação. In: Embrapa Agropecuária Oeste (Dourados, MS). **Algodão: informações técnicas.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste/Embrapa Algodão, 1998. P.51-70. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular Técnica, 7).

VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E. Fosfogesso: uso agrícola. In: MALAVOLTA, E. coord. **Seminário sobre corretivos agrícolas.** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.161-201.

## Apêndice

**Tabela 1.** Relação de alguns laboratórios em operação no Brasil, com selo de qualidade em 2002.

Laboratório	Cidade	Estado
Agro Análise	Cuiabá	MT
CAMPO – Cia de Promoção Agrícola	Paracatu	MG
Caufes	Alegre	ES
Central Analítica LTDA LCQ/CRPAAA/NATT	Maceió	AL
Centro Consorciado de Recursos Tecnológicos – CCRT	Araguaína	TO
Centro de Ensino Tecnológico Senador Carlos Jereissati - CENTEC	Limoeiro do Norte	CE
COMIGO	Rio Verde	GO
Coop. Agrária dos Cafeicultores de São Gabriel – COOABRIEL	S. Gabriel da Palha	ES
EBDA Barreiras	Barreiras	BA
EBDA Salvador	Salvador	BA
Emater Goiás - Lab. Central	Goiânia	GO
Embrapa Agrobiologia	Seropédica	RJ
Embrapa Agropecuária Oeste	Dourados	MS
Embrapa Algodão	Campina Grande	PB
Embrapa Amapá	Macapá	AP
Embrapa Amazônia Ocidental	Manaus	AM
Embrapa Amazônia Oriental	Belém	Pa
Embrapa Arroz e Feijão	Goiânia	GO
Embrapa Cerrados	Planaltina	DF
Embrapa Hortaliças	Brasília	DF
Embrapa Mandioca e Fruticultura	Cruz das Almas	BA
Embrapa Rondônia	Porto Velho	RO
Embrapa Roraima	Boa Vista	RR
Embrapa Semi Árido	Petrolina	PE
Embrapa Solos	Rio de Janeiro	RJ
Embrapa Tabuleiros Costeiros	Aracaju	SE
Emcapa (E.E. Linhares). 000	Linhares	ES
Emcaper (E.E. Mendes Fonseca)	Aracê	ES
Emp. Pesq. Agrop. do Rio Grande do Norte – EMPARN	Natal	RN
Empaer Mato Grosso	Várzea Grande	MT
EMPARN Natal	Natal	RN
Escola Agrot. Fed. de Rio Verde	Rio Verde	GO
EXATA	Jataí	GO
Fundenor	Campos dos Goytacazes	RJ
IAGRO	Campo Grande	MS
Inst. de Tecnologia e Pesquisas de Sergipe – ITPSE	Aracaju	SE
IPA – Recife	Recife	PE
Lab. Análise de Solo – Coorpevale	J. Vale do Rio Preto	RJ
Lab. de Análise de Solos de Goiânia	Goiânia	GO
Laboratório Terra	Goiânia	GO
LAFSMA- Lab. de Análise de Fertilizante, Solo e Monitoramento Ambiental Ltda.	Cruz das Almas	Ba
LAVIET – Lab. Aval. Impactos em Ecossistemas Terrestres	Salvador	BA



Tabela 1. Continuação

Laboratório	Cidade	Estado
Plante Certo	Várzea Grande	MT
SOLOAGRI -Serviço de Análise de Solo Agrícola	Petrolina	PE
SoloAnálise	Primavera do Leste	MT
Solocria	Goiânia	GO
Soloquímica	Brasília	DF
Solos Lab. de Análise e Consultoria	Campo Grande	MS
UESB – Universidade Estadual do Sudeste da Bahia	Vitória da Conquista	BA
UFRPE (E. E. Cana-de-açúcar de Carpina)	Carpina	PE
UNIDERP – Centro de Ciências Agrárias, Biológicas e da Saúde	Campo Grande	MS
Unisolo Laboratório de Análises de Solo Ltda.	Goioerê	PR
Univ. do Amazonas - Fac. de Ciências Agrárias – UAM (FCA)	Manaus	AM
Univ. Fed. da Paraíba – UFPB Centro de Ciências Agrárias	Areia	PB
Univ. Fed. da Paraíba – UFPB (LIS)	Campina Grande	PB
Univ. Fed. de Alagoas – UFAL (CECA)	Rio Largo	AL
Univ. Fed. do Acre–UFAC Dep. Ciências Agrárias Lab. Fertilidade do Solo	Rio Branco	AC
Univ. Fed. Rural de Pernambuco UFRPE (DEPA)	Recife	PE
Univ. Fed. Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ	Campos dos Goytacazes	RJ
ZOOFERTIL	Palmas	TO

Fonte: [www.cnps.embrapa.br/link do PAQLF](http://www.cnps.embrapa.br/link-do-PAQLF)

## Anexos

**Tabela 1A.** Principais características de alguns adubos nitrogenados.

Adubo	Porcentagem de						Equiv. acidez*
	N	f**	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	S	
Amônia anidra	82	1,220	-	-	-	-	-1341
Cloreto de amônio	26	3,846	-	-	-	-	-1394
F. diamônico (DAP)	16	6,250	44	-	-	-	-635
F. monoamôn.(MAP)	10	10,000	50	-	-	-	-589
Nitrato de amônio	33,5	2,985	-	-	-	-	-535
Nitrato de cálcio	15	6,667	-	-	20	-	+ 181
Nitrofosfato	18	5,556	10-22	-	6-7	1,9	+ 236
Nitrato de Potássio	13	7,692	-	44	-	-	-181
Salitre do Chile	16	6,250	-	-	-	-	+ 263
Sulfato de amônio	20,5	4,878	-	-	-	24	-996
Uréia	45	2,222	-	-	-	-	-840

\* kg de calcário/tonelada; sinal - : calcário para neutralizar 1 t de adubo; sinal + : quantidade de calcário equivalente a 1 t de adubo; \*\*f = (100/teor do nutriente) fator de multiplicação para transformar a quantidade do nutriente na do adubo

Fonte: Modificado de Malavolta (1989)

**Tabela 2A.** Principais características de alguns adubos fosfatados.

Adubo	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel				%				Equiv. Acidez*
		Água	Citrato	Ác. cítr.	f**	N	Ca	Mg	S	
F. monoamônio (MAP)	50	47	50	50	2,000	10	-	-	-	- 589
F. diamônio (DAP)	44	40	44	44	2,273	16	-	-	-	- 635
Superfosfato simples-SS	20	17	18	18	5,556	-	19	-	12	0
triplo-ST	46	39	44	44	2,273	-	11	-	1,2	0
SS amoniado	18	15	17	17	5,882	2	18	-	10	-
ST amoniado	38	35	37	37	2,703	4	10	-	1,2	-
Parcialmento acidulado	26	8	12	10	10,000	-	25	-	6	0
Nitrofosfatos	20	16	18	18	5,556	18	9	-	-	- 181
Fosfato bicálcico	40	0	40	40	2,500	-	21	-	-	0
Termofosfatos	19	0	13	16	6,250	-	2	9	-	+ 453
Escórias de Thomas	19	0	12	15	6,667	-	18	-	-	+ 453
Fosforita de Olinda	30	0	3	6	16,667	-	29	-	-	+ 90
Multifosf. Magnesiano	18	-	18***	-	5,556	-	18	3,5	11	-
Apatitas de Araxá	30	0	3	6	16,667	-	29	-	-	+ 90

\* kg de calcário/tonelada; sinal - : calcário para neutralizar 1 t de adubo; sinal + : quantidade de calcário equivalente a 1 t de adubo; \*\*f = (100/teor do nutriente) fator de multiplicação para transformar a quantidade do nutriente na do adubo. Usou-se o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico

Fonte: Modificado de Malavolta (1989)

**Tabela 3A.** Características de alguns adubos potássicos.

Adubo	Porcentagem de						Equiv. da acidez*
	K <sub>2</sub> O	f**	N	Ca	Mg	S	
Cinzas	1-20	100,0-5,0	-	4-18	1-3	-	0
Cloreto de potássio	60	1,667	-	-	-	-	0
Nitrato de potássio	44	2,273	13	-	-	-	+ 235
Salitre. do Chile	14	7,143	15	-	-	-	+ 249
Sulfato de potássio	50	2,000	-	-	-	17	0
Sulfato K e Mg	22	4,545	-	-	11	22	0

\* kg de calcário/t; sinal + : quantidade de calcário equivalente a 1 t de adubo. \*\*f = (100/teor do nutriente) fator de multiplicação para transformar a quantidade do nutriente na do adubo.

Fonte: Adaptado de Instituto da Potassa & Fósforo (1998) e Malavolta (1989).

**Tabela 4A.** Principais características dos produtos contendo enxofre.

Adubo	Porcentagem de							Equiv. Acidez*
	S	f**	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	
Nitrogenados								
Nitrofosfato	0,2-3,6	500-27,78	14-22	10-22	-	6-7	-	- 181
Nitrossulfocálcio	4	25,00	27	-	-	6	-	- 353
Sulfato de amônio	24	4,17	21	-	-	-	-	- 996
Sulfonitrato de amônio	15	6,67	26	-	-	-	-	- 770
Fosfatados								
Superfosfato simples	12	8,33	-	18	-	19	-	0
Superfosfato triplo	8	12,50	-	28	-	20	-	0
Potássicos								
Sulfato de potássio	17	5,88	-	-	50	-	-	0
Magnesianos								
Sulfato de magnésio	14	7,14	-	-	-	-	10	0
Sulfato de potássio e magnésio	19-22	5,26-4,55	-	-	22-30	-	6-11	0
Sulfúricos								
Enxofre elementar	39-99	2,56-1,01	-	-	-	-	-	- 850 a - 2862
Gesso	17	5,88	-	-	-	20	-	0

\*kg de calcário/tonelada; sinal -: calcário para neutralizar 1 t de adubo; sinal + : quantidade de calcário equivalente a 1 t de adubo; \*\*f = (100/teor do nutriente) fator de multiplicação para transformar a quantidade do nutriente na do adubo.

Fonte: Adaptado de Malavolta (1989).

**Tabela 5A.** Quantidade de micronutrientes contidas em alguns adubos.

Adubo	gramas/tonelada				
	B	Mn	Cu	Zn	Mo
Nitrocálcio	-	-	22	15	1
Salitre do Chile	-	8	3	1	-
Sulfato de amônio	6	6	2	-	-
Superfosfato	11	11	44	150	2
Termofosfato	1500	traços	traços	Traços	traços
Cloreto de Potássio	14	8	3	3	-
Sulfato de Potássio	4	6	4	2	-
Calcários	4	330	3	31	1
Esterco de Curral	20	310	62	120	2
Lixo	-	-	325	1450	-

Fonte: Malavolta (1989).

**Tabela 6A.** Principais fertilizantes com micronutrientes comercializados no Brasil.

Micro	Fertilizante	Garantia Mínima	f **
Boro	Bórax	11% B	9,1
	Ácido bórico	17% B	5,9
	Ulexita	8% B	12,5
	Fritas	1,5-3,6% B	66,7-27,8
	Boro orgânico	8% B	12,5
Cobre	Sulfato de cobre	13% Cu	7,7
	Cloreto cúprico	16% Cu	6,3
	Óxido cúprico	75% Cu	1,3
	Fritas	0,8-3,5% Cu	125,0-28,6
	Quelatos de Cu	5-13% Cu	20,0-7,7
Ferro	F. ferroso amoniacal	29% Fe	3,4
	Sulfato ferroso	19% Fe	5,3
	Cloreto férrico	15% Fe	6,7
	Fritas	0-6% Fe	0,0-16,7
	Quelatos de Fe	5-14% Fe	20,0-7,1
Manganês	Sulfato manganoso	26% Mn	3,8
	Óxido manganoso	41% Mn	2,4
	Cloreto de manganês	16% Mn	6,3
	Fritas	0-10%	0,0-10,0
	Quelatos de Mn	5%	2000
Molibdênio	Molibdato de amônio	54% Mo	1,9
	Molibdato de sódio	39% Mo	2,6
	Fritas	0,1-0,4% Mo	1000,0-250,0
Zinco	Sulfato de zinco	20% Zn	5
	Óxido de zinco	50% Zn	2
	Fritas	3% Zn	33,3
	Quelatos de Zn	10-14% Zn	10,0-7,1

\*\*f = (100/teor do nutriente) fator de multiplicação para transformar a quantidade do nutriente na do adubo

Fonte: Adaptado de Malavolta (1989) e Instituto da Potassa &amp; Fosfato (1998).

**Tabela 7A.** Especificações dos fertilizantes orgânicos simples.

Orgânicos simples processados de	Umidade máxima (%)	Mat. org. mínima (%)	pH mínimo	C/N mínimo	N mínimo (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mínimo (%)
Esterco de bovino	25	36	6	20/jan	1	-
Esterco de galinha	25	50	6	20/jan	1,5	-
Bagaço de cana	25	36	6	20/jan	1	-
Palha de arroz	25	36	6	20/jan	1	-
Palha de café	25	46	6	20/jan	1,3	-
Borra de café	25	60	6	20/jan	1,8	-
Torta de algodão	15	70	-	-	5	-
Torta de amendoim	15	70	-	-	5	-
Torta de mamona	15	70	-	-	5	-
Torta de soja	15	70	-	-	5	-
Farinha de osso	15	6	-	-	1,5	20 total (80% sol.)
Farinha de peixe	15	50	-	-	4	6
Farinha de sangue	10	70	-	-	10	-
Turfa e linhita	25	30	6	18/jan	1	-

Fonte: (Legislação Brasileira, Portaria n° 1, Decreto 86.955 de 18.02.82).

**Tabela 8A.** Especificações dos fertilizantes organo-mineral e “composto”

Garantia	Organo-mineral	“Composto”
Matéria orgânica total	Mínimo de 15 %	Mínimo de 40 %
Nitrogênio total	Declarado no registro	Mínimo de 1,0 %
Umidade	Máximo de 20 %	Máximo de 40 %
Relação C/N	-	Máximo de 18/1
pH	Mínimo de 6,0	Mínimo de 6,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Declarado no registro	-
K <sub>2</sub> O	Declarado no registro	-
Soma (NPK, NP, PK ou NK)	Mínimo de 6 %	-

Fonte: (Legislação Brasileira, Portaria n° 1, Decreto 86.955 de 18.02.82).



**Tabela 9A.** Composição média de alguns adubos orgânicos\*.

Adubo	MO	N	fn**	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	fp**	K <sub>2</sub> O	fk**
	%						
Esterco de bovinos	57	1,7	58,82	0,9	111,11	1,4	71,43
Esterco de equinos	46	1,4	71,43	0,5	200,00	1,7	58,82
Esterco de suínos	53	1,9	52,63	0,7	142,86	0,4	250,00
Esterco de ovinos	65	1,4	71,43	1,0	100,00	2,0	50,00
Esterco de aves	50	3,0	33,33	3,0	33,33	2,0	50,00
Composto orgânico	31	1,4	71,43	1,4	71,43	0,8	125,00
Resíduo urbano	29	1,4	71,43	0,2	500,00	1,0	100,00
	kg/m <sup>3</sup>						
Vinhaça							
Mosto de melaço - pH 4,2	49	0,7	1,43	0,2	5,00	5,5	0,18
Mosto de calda - pH 4,0	31	0,3	3,33	0,2	5,00	1,5	0,67
Mosto misto - pH 3,6	24	0,4	2,50	0,3	3,33	2,7	0,37

\* Com exceção dos três tipos de vinhaça, os demais dados são com base na matéria seca; \*\*f = (100/teor do nutriente) fator de multiplicação para transformar a quantidade do nutriente (kg) na do adubo (kg ou m<sup>3</sup>): adubo sólido(kg) = quantidade do nutriente (kg) x f; adubo líquido (m<sup>3</sup>) = quantidade do nutriente (kg) x f.

Fonte: Adaptado de Instituto da Potassa e Fosfato (1998).

**Tabela 10A.** Principais efeitos da matéria orgânica nos solos cultivados.

Propriedades do solo	Efeitos da matéria orgânica humificada
<b>Físicas</b>	<b>Redução das oscilações térmicas</b>
	Agregação das partículas elementares
	Aumenta a estabilidade estrutural
	Proporciona coesão nos solos arenosos
	Aumenta as permeabilidades hídricas e gasosas
	Solos menos encharcados
	Facilita a drenagem
	Reduz a erosão
	Aumenta a capacidade de retenção hídrica
	Melhora o balanço hídrico
<b>Químicas</b>	<b>Aumento do poder tampão</b>
	Regula o pH
	Aumenta a capacidade de troca catiônica
	Mantém os cátions em forma trocáveis
	Formação de fosfhumatos
	Formação de quelatos
	Mantém as reservas de nitrogênio
<b>Biológica</b>	<b>Favorece a respiração radical</b>
	Favorece a germinação das sementes
	Regula a atividade microbiana
	Fonte de energia p/ os microrganismos heterotróficos
	Favorece a solubilização de compostos minerais
	Favorece o estado sanitário dos órgãos subterrâneos

Fonte: modificada de Terron (1995), como citado por Messias et al. (1998).

**Tabela 11A.** Equivalente em carbonato de cálcio dos diferentes constituintes neutralizantes dos corretivos.

Constituinte	Fórmula	Nº de e.g.*		E <sub>CaCO3</sub> *	% E <sub>CaCO3</sub> *
		E*	em 100 g		
Carbonatos	CaCO <sub>3</sub>	50,00	2,00	1,00	100
	MgCO <sub>3</sub>	42,16	2,37	1,19	119
Hidróxidos	Ca(OH) <sub>2</sub>	37,05	2,70	1,35	135
	Mg(OH) <sub>2</sub>	29,16	3,43	1,72	172
Óxidos	CaO	28,04	3,57	1,79	179
	MgO	20,16	4,96	2,48	248
Silicatos	CaSiO <sub>3</sub>	58,08	1,72	0,86	86
	MgSiO <sub>3</sub>	50,20	1,99	1,00	100

(\*) E = Equivalente químico; N° e.g. = número de equivalentes gramas.

E<sub>CaCO3</sub> = equivalente em carbonato de cálcio.

Fonte: Malavolta (1989).

**Tabela 12A.** Taxas de reatividade das frações granulométricas de calcário adotadas no Brasil.

Fração Granulométrica		Taxa de Reatividade
Peneira (ABNT)	Dimensão	
Nº	mm	%RE <sup>(1)</sup>
Maior que 10	Maior que 2	0
10 - 20	2 - 0,84	20
20 - 50	0,84 - 0,30	60
Menor que 50	Menor que 0,30	100
A RE(%) do calcário <sup>(2)</sup> = % F <sub>10-20</sub> x 0,2 + % F <sub>20-50</sub> x 0,6 + F <sub>&lt; 50</sub> x 1		

<sup>(1)</sup> Percentual do PN que reagem em 3 meses; <sup>(2)</sup> %F = Fração percentual das partículas do calcário que passa na peneira especificada.

Fonte: Alcarde (1992).

**Tabela 13A.** Composição aproximada do fosfogesso em porcentagem.

CARACTERÍSTICA	%
Umidade livre	15 - 17
CaO	26 - 28
S	15 - 16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,6 - 0,75
SiO <sub>2</sub> (insolúveis em ácidos)	1,26
F (fluoretos)	0,63
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37
Solubilidade (a 20 °C - CaSO <sub>4</sub> )	0,258 g/100 ml

Fonte: Adaptada da Vitti e Malavolta (1985).

**Tabela 14A.** Gesso e enxofre necessários para substituir o  $\text{Na}^+$  do solo.

$\text{Na}^+$ $\text{mmol}_\text{c}/\text{dm}^{-3}$	Gesso	Enxofre
	0,15 cm	0,15 cm
	t/ha	
10	2,1	0,38
20	4,2	0,77
40	8,4	1,55
80	16,8	3,10
100	21,0	3,88

Fonte: Richards (1969).

**Circular  
Técnica, 63**

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
Embrapa Algodão  
Rua Osvaldo Cruz, 1143 Centenário, CP 174  
58107-720 Campina Grande, PB  
Fone: (83) 3315 4300 Fax: (83) 3315 4367  
e-mail: sac@cnpa.embrapa.br

1ª Edição  
Tiragem: 500

**Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento**

**Comitê de  
Publicações**

Presidente: Alderi Emídio de Araújo  
Secretária Executiva: Nivia M.S. Gomes  
Membros: Demóstenes M.P. de Azevedo  
José Wellington dos Santos  
Lúcia Helena Avelino Araújo  
Márcia Barreto de Medeiros  
Mária Auxiliadora Lemos Barros  
Mária José da Silva e Luz  
Napoleão Esberard de M. Beltrão

**Expedientes:** Supervisor Editorial: Nivia M.S. Gomes  
Revisão de Texto: Nisia Luciano Leão  
Tratamento das ilustrações: Maria do Socorro A. de Sousa  
Editoração Eletrônica: Maria do Socorro A. de Sousa